

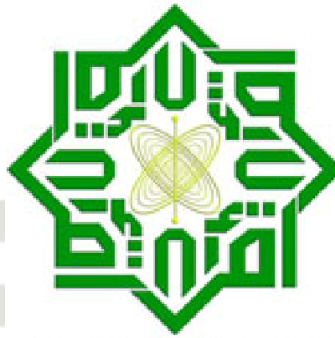
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**PERANCANGAN PENGENDALIAN *WEB TENSION* PADA
REWINDER ROLL MENGGUNAKAN
KENDALI *FUZZY* -PID**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



UIN SUSKA RIAU

Oleh :

FAJAR FADILLAH

11655101164



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU
PEKANBARU**

2021

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN PENGENDALIAN *WEB TENSION* PADA *REWINDER ROLL* MENGGUNAKAN KENDALI *FUZZY -PID*

TUGAS AKHIR

oleh:

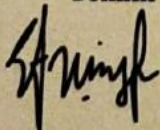
FAJAR FADILLAH

11655101164

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro
di Pekanbaru, pada tanggal 18 Juni 2021

Ketua Program Studi

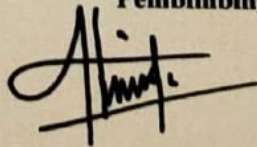
Teknik Elektro


signed by Ewi
Ismaredah
Tanggal:
2021.07.26
17:59:45 WIB

Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.

NIP. 19750922 200912 2 002

Pembimbing



Digitally
signed by
Ahmad Faizal
Tanggal:
2021.07.14
11:47:58 WIB

Ahmad Faizal, S.T., M.T.

NIP. 19880630 201503 1 006

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN PENGENDALIAN *WEB TENSION* PADA *REWINDER ROLL* MENGGUNAKAN KENDALI *FUZZY-PID*

TUGAS AKHIR

oleh:

FAJAR FADILLAH

11655101164

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau
di Pekanbaru, pada tanggal 18 Juni 2021

Pekanbaru, 18 Juni 2021

Mengesahkan,



Dr. Drs. Hartono, B.A., M.Pd

NIP. 19640301 199203 1 003

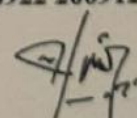
DEWAN PENGUJI :

Ketua : Arif Marsal, Lc., M.A.
Sekretaris : Ahmad Faizal, S.T., M.T.
Anggota I : Aulia Ullah, S.T., M.Eng.
Anggota II : Halim Mudia, S.T., M.T.

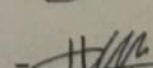
**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**


Digitally signed
by Ewi
Ismaredah
Tanggal:
2021.07.26
17:59:15 WIB
Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom.

NIP. 19750922 200912 2 002


Digitally
signed by Arif
Marsal
Tanggal:
2021.07.22
13:35:52 WIB

Digitally
signed by
Ahmad Faizal
Tanggal:
2021.07.14
12:17:10 WIB


Digitally
signed by
Halim Mudia

LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas akhir yang tidak diterbitkan ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi kepustakaan di perkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

UIN SUSKA RIAU

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak memuat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali disebutkan dalam referensi dan di dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 3 Juli 2021

Yang membuat pernyataan,



FAJAR FADILLAH
NIM. 11655101164

UIN SUSKA RIAU

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya berilmu, dan barangsiapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya berilmu, dan barang siapa yang menghendaki keduanya, maka wajib baginya berilmu.

(HR. Tirmidzi)

Terima Kasih Ya Allah...

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha Pengasih namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-Nya tak terbilang. Engkau zat yang Maha membolak-balikkan hati, teguhkanlah hati ini di atas agama-Mu ya Allah. Lantunan sholawat beriring salam penggugah hati dan jiwa, menjadi persembahan penuh kerinduan pada sosok panutan umat, pembangun peradaban manusia yang beradab Nabi Besar Muhammad SAW.

Niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat.

(QS: Al-Mujadilah 11)

Ku persembahkan karya ini untuk Ayahanda tercinta, sosok pejuang dalam hidupku yang tak pernah mengenal kata lelah apalagi mengeluh serta Ibunda tersayang, malaikat tanpa sayap dalam hidupku yang tak kenal waktu siang dan malam selalu menjaga dan melindungi hingga aku bisa sampai seperti sekarang ini, Adik-adik tercinta, seluruh keluarga serta sahabat dan seluruh keluarga besar teknik elektro UIN SUSKA RIAU yang doanya senantiasa mengiringi setiap derap langkahku dalam meniti kesuksesan.

Dan katakanlah: "Ya Tuhan-ku, masukkan aku ke tempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ke tempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku."

(QS: Al-Isra 80)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

PERANCANGAN PENGENDALIAN *WEB TENSION* PADA *REWINDER ROLL* MENGGUNAKAN KENDALI *FUZZY* -PID

FAJAR FADILLAH

NIM : 11655101164

Tanggal Sidang : 18 Juni 2021

Program Studi Teknik Elektro Teknik Elektro

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Jl. Soebrandas No. 155 Pekanbaru

ABSTRAK

Web tension merupakan proses pengendalian ketegangan pada industri pembuatan kertas. Pada *rewinder roll*, ketegangan kertas diatur agar tetap berada pada *setpoint* 0,5 N dengan memanipulasi perputaran motor pada *drive roll* sehingga muncul ketegangan antara *drive roll* dan *lead roll*. Ketegangan yang rendah dapat menyebabkan kertas menjadi keriput(wrinkle), jika ketegangan berlebih akan menyebabkan kertas sobek. Untuk itu performansi pada unit *rewinder roll* untuk proses pembuatan kertas mensyaratkan pengendalian yang halus, respon relatif cepat dan *error steady state* yang kecil sehingga diperlukan pengendali yang tepat untuk *plant* ini dengan memperhatikan nilai *rise time*, *overshoot*, dan *error steady state*. pada penelitian ini menggunakan kendali *fuzzy* untuk mengendalikan *web tension* pada *rewinder roll*, namun pengendali *fuzzy* saja masih belum cukup karena masih menimbulkan *overshoot* dan *error steady state*. Kemudian kendali *fuzzy* digabungkan dengan kendali PID untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dengan melakukan penalaan secara heuristik. Berdasarkan hasil simulasi, pengendali gabungan *fuzzy*-PID mendapatkan hasil yang cukup baik dimana kendali gabungan ini dapat meredam *overshoot* dan menghilangkan *error steady state* dan mampu mempertahankan *setpoint* 0,5 N, dimana didapatkan nilai-nilai parameternya adalah $E_{ss} = 0$ N, $t_r = 1,08$ detik, $t_s = 2,98$ detik, $t_d = 0,06$ detik, $M_p = 0$ %

Kata Kunci : *Fuzzy*, PID, *Web Tension*, *Rewinder roll*

CONTROL DESIGN OF WEB TENSION ON REWINDER ROLL USING FUZZY-PID CONTROLLER

FAJAR FADILLAH

Student Number : 11655101164

Date of Final Exam : June 18th, 2021

Department of Electrical Engineering

Faculty of Science of Technology

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Soebrantas St. Number. 155 Pekanbaru

ABSTRACT

Web tension is a tension control process in the paper-making industry. In the rewinder roll, the paper tension is set to remain at the set point 0.5 N by manipulating the motor rotation on the drive roll, therefore the tension will arise between drive roll and lead roll. Low tension can cause the paper to wrinkle, if too much tension will cause the paper to tear. For this reason, the performance of the roll rewinder unit for the paper-making process requires smooth control, relatively fast response, and small steady state error, so an appropriate controller is needed for this plant by paying attention to the rise time, overshoot, and steady state error values. one of the modern controllers in use today is a fuzzy logic controller. But, it still have overshoot and steady state errors. for further, the fuzzy controller will be combining with the PID controller with the assumption this combination will get better results by doing the heuristic tuning. based on simulation result, fuzzy-PID controller get quite good results where this combined control can reduce overshoot and eliminate steady-state errors and is able to maintain a setpoint of 0.5 N where the parameter values are $E_{ss} = 0$ N, $t_r = 0.67$ seconds, $t_s = 0.969$ seconds, $t_d = 0.324$ seconds, $M_p = 0\%$

Key Word : Fuzzy, PID, Rewinder roll, Tension, Web

UIN SUSKA RIAU

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Perancangan Pengendalian Web Tension Pada Rewinder roll Menggunakan Kendali Fuzzy -PID”**.

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada disekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN SUSKA Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah, Bunda, dan Adik tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Kairunnas, M.Ag. selaku rektor UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh staf dan jajarannya.
3. Bapak Dr.Drs.Hartono, B.A., M.Pd,selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau beserta kepada seluruh Pembantu Dekan, Staf dan jajarannya.
4. Ibu Ewi Ismaredah, S.Kom.,M.Kom selaku ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau sekaligus dosen penguji satu tugas akhir ini.
5. Bapak Mulyono, S.T, M.T. selaku sekretaris program studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN SUSKA Riau.
6. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu serta pemikirannya dengan ikhlas dalam memberikan penjelasan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

- dan masukan yang sangat berguna sehingga penulis menjadi lebih mengerti dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Arif Marsal, Lc., M.A. selaku ketua sidang yang telah meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun kepada penulis.
 8. Bapak Aulia Ullah, S.T., M.Eng dan Bapak Halim Mudia, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
 9. Bapak Sutoyo, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik selama perkuliahan penulis dari semester 1 hingga akhir semester.
 10. Bapak dan Ibu dosen Program studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 11. Kakanda Gilang Gusti Randa, S.T yang telah banyak meluangkan waktunya serta memberikan masukan kepada penulis padahal waktu itu kakanda juga sedang sibuk mengurus Tugas Akhir kakanda.
 12. Aulia Rahma Jumardi selaku teman seperjuangan selaku teman yang telah meluangkan waktunya untuk banyak membantu penulis dalam berbagi hal dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 13. Sahabat Teknik Berkarya (Ahmad Iqbal, Muhammad Iqbal, Jufri Yanto, Rahmad Affandi, Widho Darmawan, Dimas M. Pamungkas) yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 14. Nafisah Raudathil Jannah, S.E yang selalu mengingatkan penulis untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 15. KKN Padang Tanggung yang telah memberikan dukungan, dorongan, dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
 16. Instrumen 2016 serta teman-teman angkatan 2016 lainnya yang juga telah memberikan banyak dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini serta teman-teman penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberi dorongan, motivasi dan sumbangan pemikiran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 8 Juli 2021

Penulis,



Fajar Fadillah
NIM. 11655101164

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR RUMUS	xix
DAFTAR SINGKATAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian.....	I-4
1.4 Batasan Masalah.....	I-4
1.5 Manfaat Penelitian	I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terkait	II-1
2.2 Landasan Teori.....	II-2
2.2.1 Web tension	II-2
2.2.2 Winder machine	II-3
2.2.3 Permodelan Dinamika Web Tension Pada Rewinder roll.....	II-4
2.3 Perubahan Permodelan Matematis ke Fungsi Transfer	II-9
2.4 Sistem Kendali	II-10

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.4.1 Respon Sistem Orde 2	II-11
2.5 Logika <i>fuzzy</i>	II-13
2.5.1 Himpunan <i>fuzzy</i>	II-14
2.5.1 Fungsi Keanggotaan (<i>Membership Function</i>)	II-16
2.6 Proses Utama Logika <i>fuzzy</i>	II-18
2.6.1 <i>Fuzzifikasi</i>	II-19
2.6.2 Inferensi <i>fuzzy</i> (logika Pengambilan Keputusan)	II-19
2.6.3 <i>Defuzzifikasi</i>	II-20
2.7 Model <i>fuzzy</i> Mamdani.....	II-21
2.8 Sistem Kendali PID	II-23
2.8.1 Kontrol Proporsional	II-24
2.8.2 Kontrol integral.....	II-25
2.8.3 Kontrol Derivatif	II-26
2.8.4 Interpolasi Linier	II-26
2.9 Pengenalan Perangkat Lunak <i>MATLAB R2014a</i>	II-27
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Proses Alur Penelitian.....	III-1
3.2 Tahapan Penelitian	III-3
3.3 Verifikasi dan Validasi Model Matematis	III-4
3.4 Perancangan Pengendali <i>Fuzzy</i> Pada <i>Rewinder Roll</i>	III-6
3.4.1 <i>Fuzzifikasi</i>	III-6
3.4.2 <i>Rule base</i>	III-7
3.4.3 <i>Defuzzifikasi</i>	III-7
3.4.4 Proses Menentukan Lebar Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy</i>	III-8
3.5 Perancangan kendali PID pada <i>rewinder roll</i>	III-13
3.6 Perancangan kendali <i>fuzzy</i> -PID pada <i>rewinder roll</i>	III-14
3.7 Perancangan Pengendali <i>Fuzzy-PID</i> Pada <i>Rewinder roll</i> Dengan Penam-	

<p>1. Dianggap melindungi sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:</p> <p>a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.</p> <p>b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.</p> <p>2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.</p>	
<p>© Hak Cipta dan Hak Milik UIN Suska Riau</p> <p>BAB IV HASIL DAN ANALISA</p> <p>4.1 Gambaran Umum Pengujian IV-1</p> <p>4.2 Hasil Dan Analisa Simulasi <i>Web Tension</i> Pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> Secara <i>Open Loop</i> IV-1</p> <p>4.3 Hasil Dan Analisa Simulasi <i>Web Tension</i> Pada Sistem <i>Rewinder roll</i> Menggunakan Pengendali <i>fuzzy</i> IV-4</p> <p>4.4 Hasil Dan Analisa Simulasi <i>Web Tension</i> Pada Sistem <i>Rewinder Roll</i> Menggunakan Pengendali PID IV-8</p> <p>4.5 Hasil dan Analisa Simulasi Pengaruh Penambahan Pengendali PID pada Pengendali <i>fuzzy</i> Terhadap Performansi <i>Plant Rewinder roll</i>..... IV-11</p> <p>4.5 Analisa Kekokohan Kendali Gabungan Fuzzy-PID Dengan Memberikan Gangguan. IV-13</p> <p>4.6 Analisa Perbandingan Respon Tiap Pengendali Dalam Mengendalikan <i>Rewinder Roll</i> IV-14</p> <p>BAB V KESIMPULAN</p> <p>5.1 Kesimpulan V-1</p> <p>5.2 Saran..... V-1</p> <p>DAFTAR PUSTAKA</p> <p>LAMPIRAN</p>	

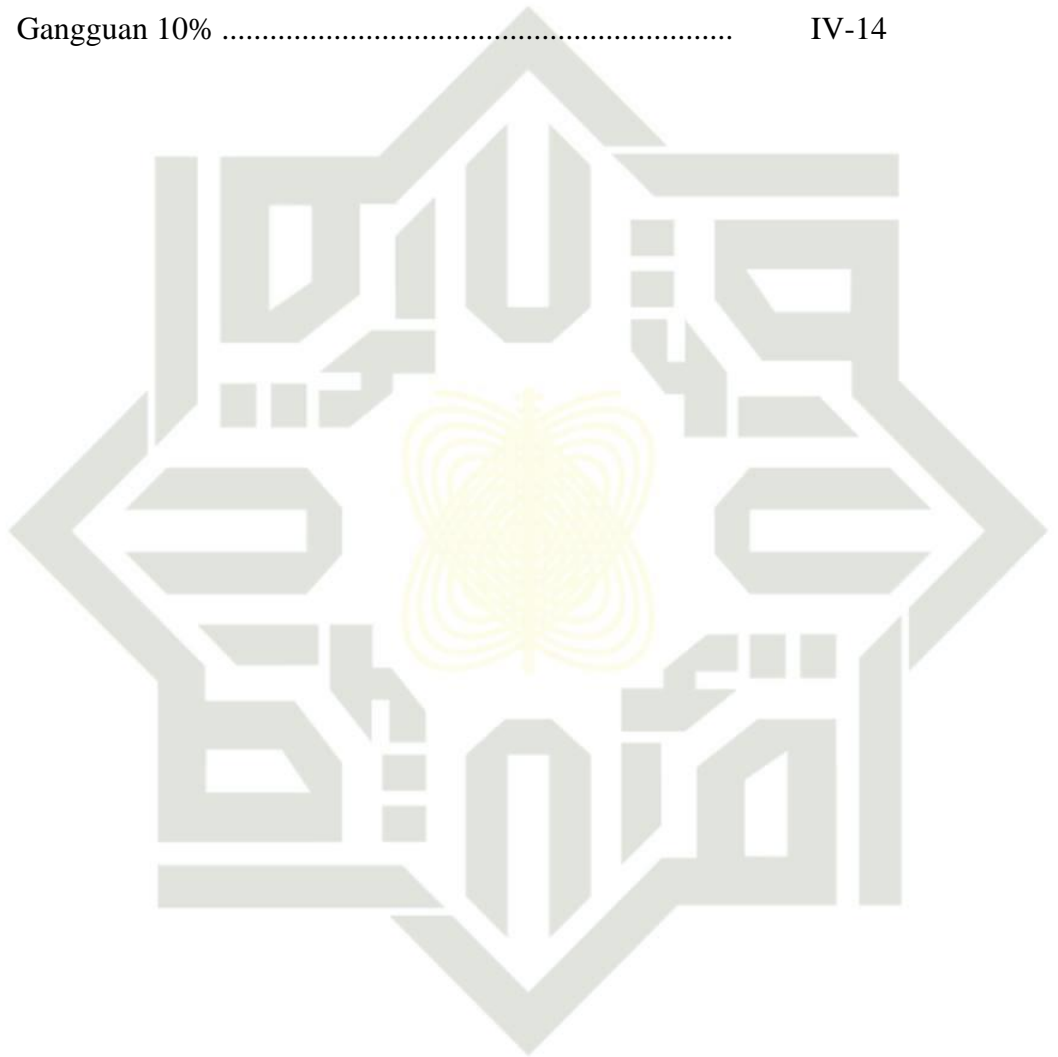
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tiga Pembagian Zona <i>Web Tension</i>	II-3
Gambar 2. 2 <i>Rewinder roll</i>	II-4
Gambar 2. 3 <i>Unwinder Roll</i>	II-4
Gambar 2. 4 Penyederhanaan <i>Winder machine</i>	II-4
Gambar 2. 5 Diagram Blok <i>Web tension</i>	II-8
Gambar 2. 6 Diagram Alur Sistem Kendali	II-10
Gambar 2. 7 Respon Transien Sistem Orde 2	II-12
Gambar 2. 8 Istilah-Istilah Dalam Himpunan <i>fuzzy</i>	II-16
Gambar 2. 9 Representasi Linear Naik	II-16
Gambar 2. 10 Representasi Linear Turun	II-16
Gambar 2. 11 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga.....	II-17
Gambar 2. 12 Representasi Trapesium	II-18
Gambar 2. 13 Diagram Alur Dari Sistem Logika <i>fuzzy</i>	II-19
Gambar 2. 14 Respon Grafik Pada Bidang Fase.....	II-19
Gambar 2. 15 Diagram Blok Pengendali PID.....	II-24
Gambar 2. 16 Blok Diagram Kontrol Proporsional	II-24
Gambar 2. 17 Blok Diagram Kontrol Integral	II-25
Gambar 2. 18 Blok Diagram Kontrol derivatif.....	II-26
Gambar 2. 19 Kurva Untuk Interpolasi Linier	III-27
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	III-2
Gambar 3. 2 Relasi verifikasi, validasi dan pembentukan model kredibel	III-4
Gambar 3. 3 Rangkaian <i>Open loop Rewinder roll</i>	III-5
Gambar 3. 4 <i>Respon Plant</i> Secara <i>Open loop</i>	III-6
Gambar 3. 5 Variabel <i>Input Error</i>	III-10
Gambar 3. 6 Variabel <i>Input Delta Error</i>	III-11
Gambar 3. 7 Variabel <i>Output</i>	III-11
Gambar 3. 8 Blok Rangkaian Sistem Kendali <i>fuzzy</i>	III-12
Gambar 3. 9 Hasil Respon Pengendali <i>fuzzy</i> Pada <i>Plant Rewinder roll</i> .	III-12
Gambar 3. 10 Rangkaian Pengendali PID Pada <i>Rewinder roll</i>	III-14
Gambar 3. 11 Rangkaian Pengendali <i>fuzzy-PID</i> Pada <i>Rewinder roll</i>	III-15
Gambar 3. 12 Rangkaian Kendali <i>fuzzy-PID</i> Pada <i>Rewinder roll</i> Dengan	

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Penambahan Sinyal Gangguan	III-16
Gambar 4. 1 Respon Simulasi Sistem Secara <i>Open loop</i>	IV-2
Gambar 4. 6 Hasil Respon Pengendali <i>fuzzy</i> pada Sistem <i>Rewinder roll</i>	IV-5
Gambar 4. 12 Hasil Respon Pengendali PID Pada Sistem <i>Rewinder roll</i>	IV-8
Gambar 4. 18 Respon Sistem Dengan Pengendali Gabungan PID Dan <i>fuzzy</i>	IV-11
Gambar 4. 24 Respon Sistem Pengendali Gabungan PID Dan <i>fuzzy</i> Dengan Gangguan 10%	IV-14



UIN SUSKA RIAU

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Parameter <i>Web tension</i> pada <i>Rewinder roll</i> [14].....	II-8
Tabel 2. 2	Nilai Derajat Keanggotaan Himpunan <i>X</i>	II-13
Tabel 2. 3	Basis Aturan <i>fuzzy</i> Dengan Tiga Nilai Linguistik (<i>N, Z, P</i>)	II-18
Tabel 2. 4	Rangkuman kriteria metode <i>defuzzifikasi</i> yang sering digunakan	II-19
Tabel 2. 5	Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter.....	II-21
Tabel 2. 6	Fungsi <i>Block</i> Pada <i>Library Simulink</i>	II-25
Tabel 3. 1	<i>Rule base fuzzy</i>	III-6
Tabel 3. 2	proses menentukan lebar fungsi keanggotaan <i>e, De</i> , dan <i>S</i>	III-7
Tabel 3. 3	proses menentukan lebar fungsi keanggotaan <i>e(+),e(-),De(+),De(-)</i> , <i>B</i> dan <i>K</i>	III-8
Tabel 3. 4	Proses Penentuan Nilai <i>Kp,Ki</i> , Dan <i>Kd</i>	III-13
Tabel 4.1	Respon Waktu Sistem <i>Rewinder roll</i> Secara <i>Open loop</i>	III-5
Tabel 4. 2	Respon Transiens Sistem dengan Pengendali <i>fuzzy</i>	III-9
Tabel 4. 3	<i>Respon Transiens</i> dengan Pengendali <i>Hybrid PID</i> dan <i>fuzzy Logic</i>	III-21
Tabel 4. 4	Perbandingan Respon Sistem <i>Open loop</i> , Pengendali <i>fuzzy</i> , Dan Pengendali Gabungan <i>PID - fuzzy</i>	III-22

UIN SUSKA RIAU

DAFTAR RUMUS

- © Hak cipta milik UIN Suska Riau
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.
- 2.1 Kepadatan Kertas
 - 2.2 Permodelan Dinamika Dari Kertas
 - 2.3 Rumus Ketegangan Pada Kertas
 - 2.4 Rumus Keregangan Pada Kertas
 - 2.5 Karakteristik Dinamika Tension
 - 2.6 Penurunan Rumus Dinamika Tension
 - 2.7 Persamaan Laplace Dinamika Tension
 - 2.8 Hukum Newton Kedua Persamaan *Rewinder*
 - 2.9 Torsi Gesek Viskos
 - 2.10 Penurunan Rumus Dinamika Torsi
 - 2.11 Hubungan Antara Kecepatan Sudut Putar Dan Percepatan Sudut Putar
 - 2.12 Persamaan Torsi Yang Dihasilkan Motor
 - 2.13 Persamaan Laplace Dinamika Torsi
 - 2.14 Fungsi Transfer Orde Kedua *Plant Dalam Domain-S*
 - 2.15 *Transfer Function*
 - 2.16 Penyederhanaan *Transfer Function*
 - 2.17 Rumus Menghitung *Overshoot*
 - 2.18 Himpunan *Fuzzy A* Pada Semester *X*
 - 2.19 Titik Support
 - 2.20 Titik Crossovers
 - 2.21 Fungsi Keanggotaan Segitiga
 - 2.22 Fungsi Keanggotaan Trapesium
 - 2.23 Rumus Menghitung Coa
 - 2.24 Time Domain Kontrol *Proportional*
 - 2.25 Time Domain Kontrol *Integral*
 - 2.26 Time Domain Kontrol *Derivative*
 - 2.27 Persamaan Garis Lurus Yang Melalui 2 Titik $P_1(X_1, Y_1)$ Dan $P_2(X_2, Y_2)$
 - 2.28 Interpolasi Linier
- State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

DAFTAR SINGKATAN

PID	=	<i>Proposional, Integrative, dan Derivative</i>
LQR	=	<i>Linear Quadratic Regulator</i>
K _p	=	<i>Konstanta Proposional</i>
K _i	=	<i>Konstanta Integrative</i>
K _d	=	<i>Konstanta Derivative</i>
t _d	=	<i>Delay Time</i>
t _{tr}	=	<i>Rise time</i>
MATLAB R2014a	=	<i>Matrix Labaratory</i>
MOM	=	<i>Max Min Of Maximum</i>
SOM	=	<i>Smallest Of Maximum</i>
LOM	=	<i>Largest Of Maximum</i>
Ess	=	<i>Error steady state</i>

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kertas merupakan salah satu benda yang sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu fungsi kertas yaitu sebagai media cetak untuk menyampaikan informasi seperti buku, koran, majalah dll. kebutuhan rata-rata kertas di ASEAN mencapai 72 kg/kapita/tahun. Sementara itu, kebutuhan kertas dalam negeri mencapai sekitar 36 kg/kapita/tahun[1]. Bahkan data permintaan akan kertas dalam Negeri terbilang tinggi, hal ini dikarenakan adanya permintaan kertas untuk kebutuhan pemilu, sedangkan permintaan kertas pada pasar dunia sedang bertumbuh sekitar 2% setiap tahunnya [2]

Tingginya permintaan kertas tidak terlepas dari mutu/kualitas kertas itu sendiri. Kepuasan konsumen sejatinya terletak pada kualitas kertas yang dihasilkan. Oleh karena itu untuk menjaga kualitas kertas, dibutuhkan pengendalian dalam proses produksinya. Pengendalian proses ditujukan untuk mendeteksi ketidaknormalan secara cepat sehingga dapat mengurangi cacat pada hasil produksi[3]. Terdapat tiga jenis cacat yang umum terjadi pada pabrik industri kertas yaitu cacat *hole*/berlubang, cacat *wrinkle*/berkerut, dan cacat *cracked*/sobek[4].

Salah satu proses pengendalian kualitas pada produksi kertas yaitu *web tension*, dimana kertas yang sudah kering setelah melalui proses *dryer* memiliki variasi pelapisan dan ketebalan pencetakan[5]. Kemudian kertas akan dipotong menjadi gulungan yang lebih kecil pada *winder machine*, dimana pada tahap ini kertas juga diatur ketegangannya untuk memastikan kertas pada gulungan akhir tetap padat, halus, dan tidak menimbulkan *wrinkle*. Performansi pada unit *winder* untuk proses pembuatan kertas mensyaratkan pengendalian yang halus, respon relatif cepat dan *error steady state* yang kecil [6], sehingga diperlukan pengendali yang cocok untuk menyesuaikan kebutuhan dari unit *winder* tersebut.

Pada *winder machine*, proses pengendalian *web tension* diatur terpisah pada setiap *section*[7]. berdasarkan studi literatur, telah dilakukan pengidentifikasian faktor-faktor penyebab cacat pada proses produksi kertas, ditemukan *potensial problem* terbesar berada pada unit *rewinder roll* dengan nilai RPN(*Risk Priority Number*) sebesar 432 dimana terdapat proses pengendalian *tension* yang kurang pas [8]. Cacat pada kertas dapat terjadi karena beberapa faktor, diantaranya adalah tidak sinkronnya perputaran motor pada *drive*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

roll, getaran yang dihasilkan mesin, atau cacat mekanis lainnya seperti arus listrik yang tidak stabil [9].

Untuk mengetahui kualitas pengendalian kertas, dapat dilakukan analisa respon pada *plant* dengan melihat karakteristik respon transien dan juga kemampuan pengendali dalam mempertahankan *set point*. Kemampuan pengendali dalam meredam perubahan variabel proses sangat berguna untuk menjaga keseragaman kerapatan gulungan kertas dan menghindari terjadinya kertas putus sehingga disyaratkan pengendali dengan *overshoot* dan *osilasi* seminimal mungkin [10]. Pengujian *plant rewinder roll* secara *open-loop* atau tanpa pengendali membuahkan hasil respon sistem yang stabil tanpa *overshoot* tapi *plant* melewati nilai *setpoint* yang diberikan. Maka dari itu diperlukan pengendalian pada *rewinder roll* agar didapatkan respon transien yang sesuai.

Salah satu pengendali modern yang banyak digunakan saat ini adalah pengendali logika *fuzzy* dengan mengadaptasi cara manusia dalam mengambil keputusan berdasarkan suatu pengetahuan fenomena-fenomena pada proses untuk menentukan suatu aksi kontrol yang sesuai dengan suatu hubungan jika-maka (*if-then rules*). logika *fuzzy* dapat bekerja untuk memperbaiki respon transien dengan mempercepat *rise time* dan juga memperbaiki *error steady state* pada sistem [11], dan juga kendali *fuzzy* dengan metode mamdani memiliki sifat yang tahan terhadap *disturbance* [12]. Penelitian terhadap performansi pengendali *fuzzy* telah penulis lakukan pada tahap pra riset dengan membandingkan respon keluaran sebelum dan setelah ditambah pengendali *fuzzy*, dari hasil didapatkan bahwa pengendali *fuzzy* bekerja dengan baik dengan mempercepat *rise time* dan juga meminimalisir *error steady state* yang dihasilkan. Tetapi pada pengendali *fuzzy* menimbulkan *overshoot* dan juga masih memiliki *error steady state*.

Salah satu pengendali konvensional yaitu pengendali PID yang terdiri dari aksi kontrol proporsional, integral, dan *derivative*. Kontrol integral sendiri memiliki sifat dapat menghilangkan *offset* pada respon keluaran, sedangkan kontrol *derivative* dapat meredam laju perubahan sinyal kesalahan sehingga pengendali PID dirasa sangat cocok apabila digabungkan dengan pengendali *fuzzy* untuk memperoleh kualitas pengendalian yang lebih baik pada *rewinder roll*.

Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan penelitian terkait aksi gabungan dari pengendali *fuzzy* dan PID. Diantaranya adalah sistem kendali *fuzzy*-PID pada pengatur kecepatan motor 3 fasa. Pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa pengendali PID *fuzzy* dapat memperoleh respon dan *recovery time* yang lebih baik dan tahan terhadap

disturbance/gangguan, hal ini dapat dilihat dari hasil pengujian sistem dengan pemberian *disturbance*, *undershot* dan *overshot* yang terjadi dari pemberian beban dan pelepasan beban dapat diredam[13].

Pada penelitian lainnya Perancangan *hybrid* dari *fuzzy Logic* dan PI untuk mengendalikan *Ignition Timing* Pada Model *Spark Ignition Engine*, Dari hasil simulasi dapat dilihat penggunaan pengendali *Hybrid fuzzy-PI* mampu berkerja dengan baik untuk titik operasi yang luas dengan karakter tiap titik operasi yang cukup berbeda. Penggunaan pengendali *Hybrid fuzzy PI* mampu meningkatkan performa mesin karena nilai *engine speed* hampir mendekati nilai referensi *engine speed*[14].

Selanjutnya penelitian lain yang membandingkan respon sistem yang hanya menggunakan kendali PID dengan respon sistem yang menggunakan kendali *hybrid PID fuzzy*. Pada kendali *hybrid* tersebut, kendali logika *fuzzy* untuk menentukan dan memilih sinyal rujukan(*setpoint*) semu yang sesuai selama selang waktu transien. Sehingga pengontrol PID dengan kontrol sinyal rujukan akan menghasilkan pengontrol PID yang mempunyai kinerja respon transien dan peredaman gangguan lebih baik dari pengontrol PID saja[15]. Pada simulasi dengan perubahan *setpoint*, kendali *hybrid PID fuzzy* dapat mengurangi *overshoot* dari 36%-2% hingga menjadi 0,86%-0,95%, waktu tunak juga diperbaiki lebih cepat sekisar 1.1%. Tetapi waktu naik mengalami kenaikan berkisar antara 0,07 % - 45,2 %. Sedangkan pada simulasi dengan adanya gangguan respon kendali *hybrid PID fuzzy* berhasil menurunkan *overshoot* dari 18,6% menjadi 0,86%, tetapi waktu naik menjadi lebih besar 50 %, nilai waktu tunak diperbaiki lebih cepat sebesar 0,09%, dan energi pengontrolan turun sebesar 14,95% dibandingkan pengontrol PID.

Berdasarkan studi literatur di atas, kendali gabungan *fuzzy-PID* cukup baik dalam memperbaiki respon transien pada sistem. Oleh karena itu penulis tertarik untuk mengaplikasikan pengendali *fuzzy- PID* guna memberikan hasil yang lebih baik pada kinerja *web tension* pada *rewinder roll* dalam meminimalisir *overshoot* dan *error steady state* yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh pengendali *fuzzy* pada *plant rewinder roll*.
2. Bagaimana performansi pengendali *fuzzy* setelah ditambahkan pengendali PID pada *rewinder roll*.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendesain pengendali *fuzzy* yang ditambahkan dengan pengendali PID
2. Mengetahui hasil performansi ketika ditambahkan pengendali PID pada *fuzzy* untuk pengendalian *Web Tension* pada *Rewinder Roll*.
3. Membandingkan performansi pengendali gabungan *fuzzy*-PID dengan *robust* PID

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak terlalu luas, oleh karena itu peneliti membatasi masalah sebagai berikut :

1. Pemodelan *plant* dan parameter keberhasilan pengendalian *rewinder roll* yang digunakan berdasarkan penelitian T. R.Biyanto[10].
2. Penentuan lebar fungsi keanggotaan *fuzzy* dan nilai parameter PID menggunakan metode heuristik.
4. perancangan dan simulasi kendali *fuzzy* PID pada *rewinder roll* menggunakan *software MATLAB R2014a* 2014a.
5. perancangan rangkaian kendali *fuzzy*-PID berupa rangkaian seri.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu :

1. Menghasilkan sebuah rancangan sistem kendali yang menggunakan pengendali *fuzzy*-PID untuk pengendalian *web tension*.
2. Dapat dijadikan referensi dalam mengaplikasikan sistem kendali di industri, serta dapat memberikan kemudahan dalam penyelesaian permasalahan umum yang terjadi pada proses pengendalian *web tension*.
3. Dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan penulis paparkan beberapa penelitian terkait dengan studi literatur yang berisikan landasan teori untuk membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

2.1 Penelitian Terkait

Beberapa penelitian terkait berupa pokok pokok permasalahan yang relevan dengan topik yang sedang penulis angkat diperoleh dari beberapa kumpulan jurnal dan *paper* baik dari dalam maupun luar Negeri.

Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan penelitian terkait pengendalian *web tension*. Diantaranya adalah pengendalian *web tension* menggunakan *robust PID*. Pada kasus ini peneliti membandingkan hasil pengendalian dari pengendali PID konvensional dengan *robust PID*. Dari hasil percobaan didapati bahwa *robust PID* bekerja lebih baik dari pengendali PID konvensional. Tetapi pada pengendali ini masih terdapat *over shoot* sebanyak 1,744% dan waktu naik sekitar 4 detik, selain itu pada penelitian ini tidak menyertakan respon sistem setelah ditambahkan gangguan[10].

pengendalian *web tension* juga telah dilakukan dengan menggunakan kendali *fuzzy*. Logika *fuzzy* digunakan untuk mendapatkan posisi yang akurat pada *active dancer* sistem untuk menjaga *tension* atau ketegangan kertas pada unit *web tension* agar tidak berubah sehingga bisa didapatkan ketegangan kertas yang diinginkan. Pada hasil percobaan ketika diberikan *setpoint* sebesar 5N didapati bahwa kendali *fuzzy* memberikan respon dengan waktu yaitu 12,255s dan terdapat *osilasi* dengan amplitudo rata rata sebesar 1,25N dan juga pada penelitian ini tidak menyertakan respon sistem setelah ditambahkan gangguan [16].

Penelitian pengendalian *web tension* juga dilakukan menggunakan *adaptive force control*, pada penelitian ini digunakan kendali *neural fuzzy approximator* untuk *gain scheduling* pada sistem kendali *web handling* untuk memperbaiki respon sistem transien dan juga meningkatkan kualitas pengendalian ketegangan. Berdasarkan hasil penelitian sistem kendali ini mampu mencapai nilai *steady state* ketika diberikan *set point gain scheduling* sebesar 0,1 dan 0,2 dengan waktu sekitar 2 detik. Pada penelitian ini sistem juga masih menimbulkan *osilasi* namun lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan pengendali

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

logika fuzzy yaitu dengan rata-rata amplitudo sebesar 0,5N dan juga pada penelitian ini tidak menyertakan respon sistem setelah ditambahkan gangguan [17].

Selain itu, penelitian terkait *web tension* juga telah dilakukan menggunakan pengendali LQR. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan kinerja yang lebih baik pada unit *winder* menggunakan pengendali LQR melalui pembobotan matriks Q dan R. dari hasil pengujian didapatkan bahwa pengendali LQR dapat mempertahankan *steady state* dan mengurangi *overshoot* sebanyak 1,5%. Pada penelitian ini terdapat *overshoot* pada sistem sebesar 0,5% dan *ess* sebesar 0,0025 N dan juga penelitian ini tidak menyertakan respon sistem ketika diberikan gangguan [6].

Penelitian terkait selanjutnya telah dilakukan penelitian analisa perbandingan dari metode *fuzzy Logic* yaitu metode Mamdani dan Sugeno untuk mengendalikan kecepatan motor DC dengan variasi dari *rule base*. Penelitian ini dilakukan dengan perbandingan mencapai *setpoint* dan pengujian kekokohan dari pengendali adapun metode yang paling bagus digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor DC adalah metode mamdani karena memiliki *time settling* lebih bagus dibandingkan metode Sugeno, disaat ditambahkan gangguan metode Mamdani lebih kokoh karena memiliki *error stady stade* yang lebih kecil [12].

Berdasarkan *review* jurnal terdahulu dapat diketahui bahwa pengendalian *web tension* menggunakan sistem kendali *robust* PID, *fuzzy*, dan LQR sudah mendapatkan hasil yang cukup memuaskan, tetapi jika ditarik kesimpulan, pada ke-3 pengendali ini masih terdapat *overshoot* dan *error steady state*. Pada penelitian dengan pengendali *fuzzy* dengan metode *sugeno* didapati hasil yang cukup baik dimana fluktuasi tegangan dapat dipertahankan tidak melebihi dari 1.5 N tetapi waktu untuk merespon masih lama. Oleh sebab itu penulis ingin mengembangkan penelitian kendali *fuzzy* pada *web tension* dengan menambahkan kendali PID dimana sifat kendali PID sendiri dapat mempercepat *rise time*, menghilangkan *error steady state*, dan mengurangi *osilasi*. Metode *fuzzy* yang akan digunakan berupa metode mamdani dimana berdasarkan penelitian sebelumnya metode mamdani memiliki sifat yang lebih kokoh dan *time settling* yang lebih bagus dari metode *sugeno* [12].

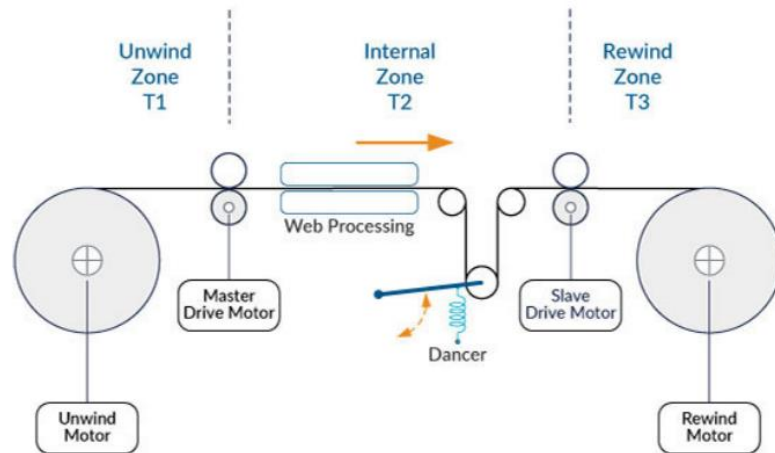
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Web tension

Web tension merupakan proses pengendalian ketegangan pada kertas yang sering sekali ditemui pada proses industri, khususnya pada industri kertas. Memastikan tegangan

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

kertas agar selalu terjaga pada *setpoint* adalah tujuan yang harus dicapai untuk menghasilkan produk berkualitas tinggi di hampir semua industri pengolahan kertas[18]. Dibanyak aplikasi konversi, proses *web tension* terbagi kedalam 3 zona yaitu *unwind*, *internal*, dan *rewind*. Dan setiap zona harus dikontrol ketegangannya secara terpisah dikarenakan *level* ketegangan yang diperlukan disetiap zona berbeda beda[7].



Gambar 2. 1 Tiga Pembagian Zona *Web Tension*[19]

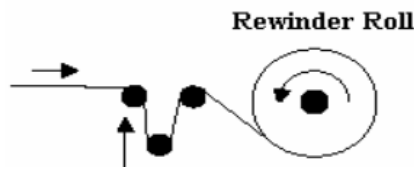
2.2.2 Winder machine

ada dua proses utama yang terjadi dalam industri pembuatan kertas yaitu *reeling* dan *winding*. Proses *reeling* bertujuan untuk menghasilkan kertas gulungan besar yang disebut *parent reels* (gulungan induk) pada proses pengeringan akhir. Setelah itu proses *winding* akan mengubah *parent reels* (gulungan induk) menjadi gulungan yang lebih kecil (*costumer sized*) yang siap untuk didistribusikan[20]. Pada proses *winding* inilah terdapat *Winder machine* yang selain bertugas untuk memotong kertas menjadi ukuran yang lebih kecil, juga bertujuan untuk memastikan hasil gulungan padat, tidak menimbulkan *wrinkle*, dan seluruh permukaannya rata.

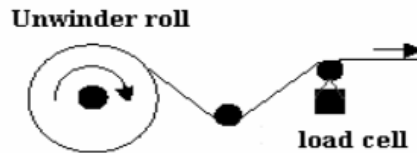
Winder machine terdiri dari sistem mekanik *roll winder* yang bekerja secara berlawanan. *Rewinder roll* sebagai penggulung kertas, dan *roll unwinder* sebagai pengulur/pengumpan kertas yang berasal dari *parent reels*. Ketegangan pada permukaan kertas antara *roll winder* dan *lead roll* dijaga kondisinya agar tidak terjadi perubahan *tension* yang dapat menyebabkan permukaan kertas terlalu kencang atau terlalu kendur[10].

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

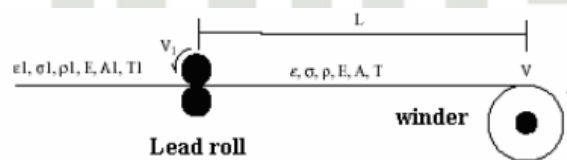
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 2 Rewinder roll[10]



Gambar 2. 3 Unwinder Roll [10]



Gambar 2. 4 Penyederhanaan Winder machine [10]

Torsi motor dan kecepatan motor menjadi variable manipulasi yang menentukan ketegangan kertas. Torsi motor akan selalu berubah ubah relative terhadap diameter *roll*. Pada *roll unwinder* torsi motor harus berkurang pada rasio linier karena diameter *roll* semakin lama akan semakin berkurang karena pelepasan gulungan kertas. Sebaliknya pada *rewinder roll* torsi motor akan bertambah pada rasio linier karena diameter *roll* kertas akan bertambah.

2.2.3 Permodelan Dinamika Web Tension Pada Rewinder roll

Pada penelitian ini dinamika *plant* akan dimodelkan berupa *single input* dan *single output* dimana, torsi motor sebagai variable manipulasi (*input*) dan *tension* sebagai process variable (*output*). Permodelan dinamika kertas pada penelitian ini mengasumsikan bahwa [10]:

- 1 Percepatan V_1 pada *lead roll* adalah konstan/tetap
- 2 Lebar melintang kertas adalah seragam
- 3 $Strain / \epsilon \ll 1$
- 4 Kertas elastis
- 5 Kepadatan kertas tidak ada perubahan yaitu :

$$\rho = \rho_{u+1} \quad (2.1)$$

Permodelan dinamika dari kertas adalah sebagai berikut :

$$\frac{d}{dt}(\rho AL) = \rho_1 A_1 V_1 - \rho AV \quad (2.2)$$

Dimana:

ρ = Massa Jenis

A = Luas Permukaan pada Lembaran Kertas

L = Panjang Kertas

V = kecepatan *lead roll*

V_1 = Kecepatan *rewinder roll*

Persamaan 2.1 merupakan neraca massa untuk lebar kertas antara *lead roll* dan *rewinder roll*. $\frac{d}{dt}(\rho AL)$ menyatakan sebuah perubahan keseluruhan lembar kertas antara *lead roll* dan *rewinder roll* sedangkan $\rho_1 A_1 V_1 - \rho AV$ menunjukkan neraca material yang masuk ke *lead roll* dan material yang digulung pada *rewinder roll*.

Hukum elastisitas dan persamaan untuk menentukan ketegangan pada *plant* sebagai berikut :

$$\sigma = E\varepsilon + C \frac{d\varepsilon}{dt}, \sigma = \frac{T}{A} \quad (2.3)$$

Sedangkan untuk menyatakan tentang *strain*/regangan dan kontinuitas massa dinyatakan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{L - L_u}{L_u}, \rho AL = \rho_u A_u L_u \quad (2.4)$$

Untuk menentukan karakteristik dinamika torsi di daerah *rewinder* maka dengan menggunakan persamaan 2.3 dan persamaan 2.4 dapat disederhanakan menjadi satu persamaan sebagai berikut :

$$L \frac{dT}{dt} = EA(V - V_1) + T_1 V_1 - TV + CA \frac{d}{dt}(V - V_1) \quad (2.5)$$

Dimana :

σ = Tegangan pada *Web Tension*

ε = Regangan pada *Web Tension*

L = Panjang Antara *Lead Roll* dan *Rewinder Roll*

E = Modulus Elastisitas Young pada Kertas

A = Luas Melintang Kertas

V = Kecepatan Kertas pada *Rewinder Roll*

V_1 = Kecepatan Kertas pada *Lead Roll*

C = Modulus Redaman Kertas

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Dengan perubahan dalam bentuk laplace sebagai berikut[21] :

$$\begin{aligned}
 L \frac{dT}{dt} &= EA(V - V1) - TV1 + CA \frac{d}{dt} (V - V1) \\
 L(s)T(s) &= EA(V(s) - V1(s)) - T(s)V1(s) + CA(s)(V(s) - V1(s)) \\
 L(s)T(s) + T(s)V1(s) &= EA(V(s) - V1(s)) + CA(s)(V(s) - V1(s)) \\
 T(s)(L(s) + V1(s)) &= EA + CA(s)(V(s) - V1(s))
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

Maka dari persamaan 2.6 didapatkan persamaan laplace sebagai berikut :

$$\frac{\frac{EA + CA(s)}{L} + \frac{V1}{L}}{(s) + \frac{V1}{L}} = \frac{T}{(V - V1)} \tag{2.7}$$

Persamaan 2.7 di atas mencerminkan dinamika yang domain dari daerah *rewinder* untuk disimulasikan serta dianalisa.

Bagian yang dimanipulasi meliputi motor, *gearbox*, dan *rewinder roll*. Dengan menggunakan hukum Newton kedua persamaan *rewinder* adalah :

$$\sum \tau(t) = J\alpha(t) \tag{2.8}$$

Dimana :

- α = Percepatan Rotasi
- J = Konstanta Inersia
- τ = Momen Putar atau Torsi

Gaya putar atau torsi masukan $\tau(t)$, yang diterapkan pada massa yang dapat diputar dengan inersia massa J , akan menyebabkan terjadi putaran dengan sudut putar $\theta(t)$, dengan kecepatan dan percepatan sudut putar sebesar $\omega(t)$ dan $\alpha(t)$. Adanya sifat-sifat fisik massa mekanik berputar, dapat menyebabkan timbulnya gaya-gaya putar (torsi) lawan, yaitu masing-masing torsi gesek viskos $\tau_b(t)$, dengan persamaan :

$$\tau_b(t) = B\omega(t) \tag{2.9}$$

Dimana :

- ω = Kecepatan Rotasi
- B = Koefisien Gesek
- τ_b = Momen Putar atau Torsi gesek

Maka persamaan 2.8 dan persamaan 2.9 dapat di jabarkan sebagai berikut :

$$\sum \tau(t) = J\alpha(t)$$

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$\begin{aligned}\tau(t) - \tau_b(t) &= J\alpha(t) \\ \tau(t) - B\omega(t) &= J\alpha(t) \\ \tau(t) &= J\alpha(t) + B\omega(t)\end{aligned}\quad (2.10)$$

selain itu hubungan antara kecepatan sudut putar $\omega(t)$ dan percepatan sudut putar $\alpha(t)$ dijabarkan dengan persamaan berikut :

$$\alpha(t) = \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (2.11)$$

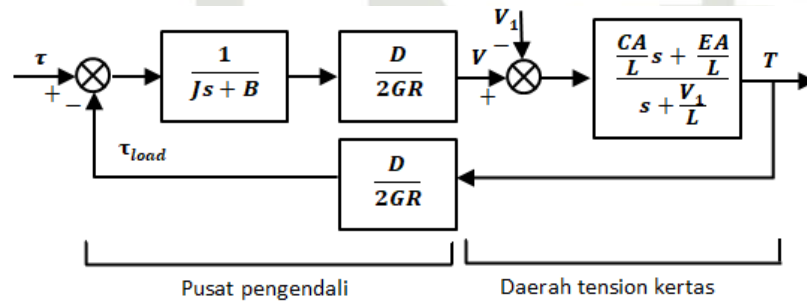
Maka dari persamaan 2.11 yang disubstitusikan ke persamaan 2.10 maka didapatkan persamaan torsi yang dihasilkan motor yang kemudian ditransfer untuk memutar beban, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\tau(t) &= J\alpha(t) + B\omega(t) \\ \tau(t) &= J\frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t)\end{aligned}\quad (2.12)$$

Maka dari persamaan 2.12 didapatkan persamaan laplace sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\tau(t) &= Js\omega + B\omega \\ \tau(t) &= (Js + B)\omega \\ \frac{\omega(t)}{\tau(t)} &= \frac{1}{(Js + B)}\end{aligned}\quad (2.13)$$

Berdasarkan persamaan 2.6 dan 2.13, blok diagram *web tension* dapat dilinierisasikan sebagai berikut :



Gambar 2. 5 Diagram Blok *Web tension* [10]

Berdasarkan blok diagram di atas didapatkan fungsi transfer orde kedua dalam domain-s mulai dari torsi motor sampai *tension* lembar kertas adalah sebagai berikut :

$$\frac{T}{\tau} = \frac{\frac{D}{2GR} \frac{EA}{JL} (Cs + 1)}{s^2 + \left(\frac{B}{J} + \frac{V_1}{L} + \frac{D^2}{4GR^2} \frac{CA}{JL} \right) s + \frac{BV_1}{JL} + \frac{D^2}{4GR^2} \frac{EA}{JL}} \quad (2.14)$$

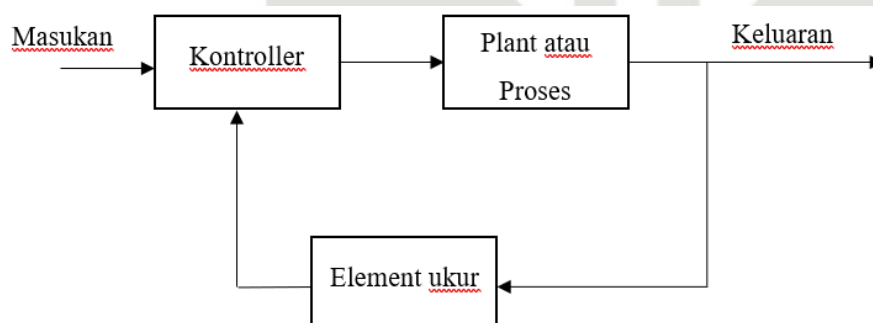
Dengan parameter yang digunakan :

Tabel 2. 1 Parameter *Web tension* pada *Rewinder roll*[14]

No.	Parameter	Keterangan	Nilai
1.	D	<i>Diameter Rewinder roll</i>	1.056 m
2.	GR	<i>Gear Ratio</i>	3
3.	E	Modulus Elastisitas <i>Young</i> pada Kertas	$1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
4.	A	Luas Melintang Kertas	$1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
5.	J	Total Inersia pada Motor	144.967 kgm ²
6.	L	Panjang antara <i>Lead Roll</i> dan <i>Rewinder roll</i>	5 m
7.	C	Modulus Redaman Kertas	5 N sec/m ²
8.	B	Koefisien Gesek pada Motor Penggerak	$2.25 \times 10^{-3} \text{ m/rad}$ /sec
9.	V ₁	Kecepatan Kertas Pada <i>Lead Roll</i>	152 m/sec

2.3 Sistem Kendali

Sistem kendali merupakan sekumpulan/serangkaian komponen yang bekerjasama dalam mengendalikan/mengontrol satu atau lebih variabel untuk mendapatkan harga/nilai yang diinginkan. Selain itu sistem kendali juga dapat berfungsi sebagai pengontrol urutan kejadian agar setiap proses dapat terjadi secara berurutan sesuai urutan yang dikehendaki dan juga sebagai pengambil keputusan apakah suatu aksi harus dilakukan atau tidak[22].



Gambar 2. 6 Diagram Alur Sistem Kendali *close loop*[23]

pada Gambar 2.6 di atas dapat dilihat diagram alur sistem kendali *close loop*. sistem kendali memiliki tujuan khusus dalam mengendalikan variabel proses. Secara ringkas, alur kerja sistem kendali dimulai dari pemberian *set point* sebagai sinyal masukan pada sistem

yang berasal dari hasil pembacaan sensor atau perintah langsung dari operator. Lalu sinyal *input* diolah oleh *controller* untuk mendapatkan sinyal kontrol. Sinyal kontrol kemudian diteruskan ke proses/*plant* untuk kemudian memanipulasi variabel proses agar sesuai dengan yang diinginkan.

Bagi pelaku industri berskala besar, sistem kendali memegang peranan penting guna menunjang proses produksi karena dapat memberikan kemudahan dan manfaat yang diantaranya mempertinggi laju produksi, menurunkan biaya produksi, menggantikan pekerjaan-pekerjaan monoton yang biasanya dilakukan oleh manusia dan lain sebagainya [24].

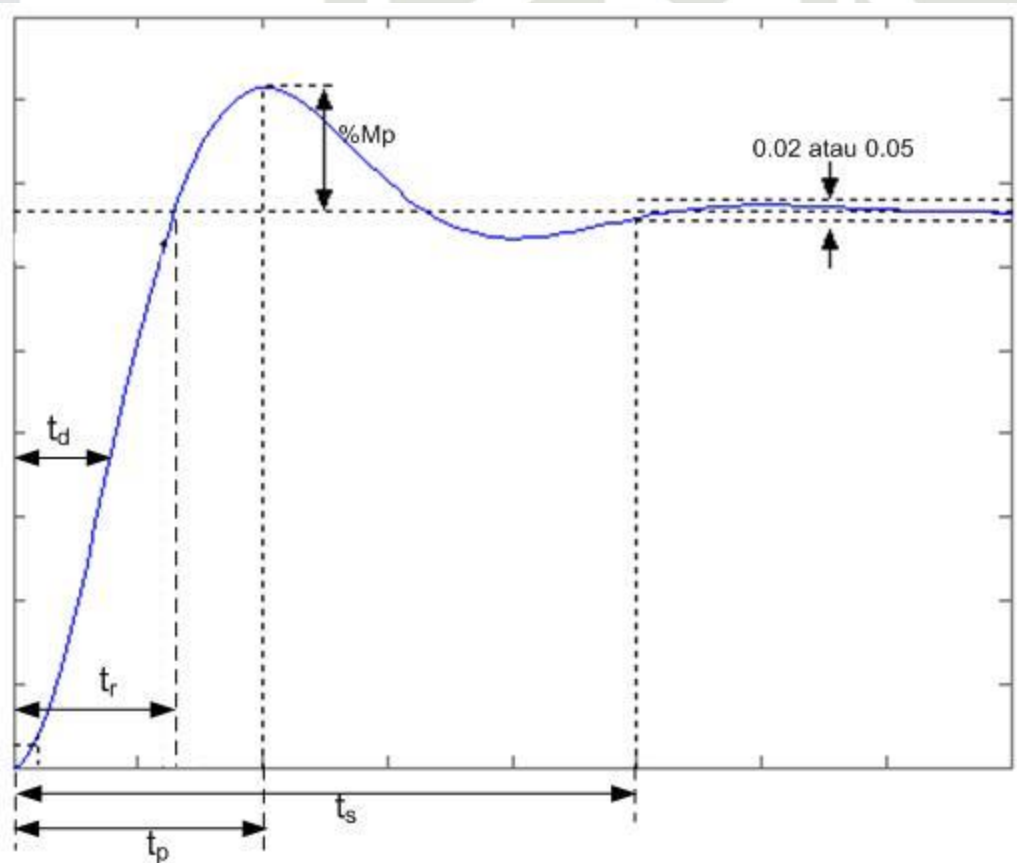
istilah Dasar Dalam Sitem Kendali[25] :

1. Variabel terkendali (*controlled variable*) dan variabel termanipulasi (*manipulated variable*). variabel terkendali merupakan kuantitas ataupun kondisi yang diukur dan dikendalikan. Adapun variabel termanipulasi merupakan kuantitas atau kondisi yang diubah oleh kendali sehingga dapat mempengaruhi nilai variabel terkendali, yang biasanya merupakan keluaran sistem.
2. *Plant*. Sebuah *plant* dapat berupa peralatan dan instrumen yang difungsikan sebagai bagian dari sistem yang dikendalikan. Contoh *plant* misalkan peralatan mekanik, tungku bakar, reaktor kimia, pesawat luar angkasa dan sebagainya.
3. Proses. Berbeda dengan *plant*, sebuah proses merupakan prosedur dan mekanisme yang dikendalikan sama seperti pada *plant*. Kendali sistem pemisahan cairan kimia, distilasi merupakan sistem kendali yang bekerja pada sebuah proses.
4. Sistem. Semua komponen yang berhubungan dan memiliki tujuan tertentu, termasuk efisiensi, otomasi dan optimasi membentuk sebuah sistem
5. Gangguan (*disturbance*). Pada sistem riil, gangguan hampir selalu dijumpai dan seringkali berpengaruh pada stabilitas dan kinerja sistem. Gangguan ini dapat disebabkan oleh sistem itu sendiri (*internal disturbance*) maupun gangguan luar sistem (*eksternal disturbance*)
6. Kendali Umpan Balik (*feedback control*). Adanya gangguan, perbedaan antara keluaran dengan masukan acuan sulit diprediksi mengakibatkan tujuan pengoperasian sebuah sistem tidak tercapai. Untuk itu, diperlukan umpan balik keluaran untuk dibandingkan dengan masukan acuan sehingga selisih perbedaan dapat dikendalikan, diminimalkan secara otomatis.

2.4.1 Respon Sistem Orde 2

Untuk dapat mengetahui bagaimana kinerja sistem, perlu dilakukan analisa respon sinyal *output* sistem terhadap *input* (*set point*) yang diberikan. Sinyal *input* yang diberikan terdiri dari bermacam jenis. pada kali ini penulis memodelkan sistem berupa sistem yang dapat menerima gangguan secara tiba-tiba sehingga sinyal *input* yang digunakan berupa sinyal *step*, yaitu sinyal *input* tetap DC secara mendadak yang kemudian akan menghasilkan kurva sinyal *output* untuk dianalisa. Pada sistem orde 2 terdapat dua jenis analisa respon sistem terhadap waktu, yaitu:

1. *Transient response*, adalah respon sistem yang diamati mulai dari sinyal *input* mulai bekerja pada sistem hingga sinyal masuk ke dalam keadaan *steady state*.
2. *Steady state response*, adalah respon sistem yang diamati dari keadaan *steady state* hingga waktu tak terbatas.



Gambar 2. 7 Respon Transien Sistem Orde 2[23].

Tolakan ukur dalam mengamati respon transient terdiri dari[23]:

1. *Rise time* (T_R):

Waktu yang diperlukan sistem dari 5%-95% keadaan *steady state*.

2. *Settling Time* (T_S):

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

Waktu yang diperlukan sistem untuk naik dan menetap di sekitar keadaan *steady state*. Biasanya ditentukan harga 5% atau 2% dari respon *steady state*.

3. *Delay Time* (T_D):

Waktu yang diperlukan sistem dari keadaan awal hingga 50% dari keadaan *steady state*.

4. *Overshoot* (M_P):

Nilai relatif yang menyatakan perbandingan harga maksimum respon yang melampaui harga *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*.

$$mp = \frac{c(tp) - \infty}{c\infty} \quad (2.17)$$

5. *Time Peak* (T_P):

waktu yang diperlukan sistem dari $t = 0$ s/d respon mencapai puncak yang pertama kali (paling besar).

2.4 Logika fuzzy

fuzzy Logic merupakan sebuah sistem cerdas yang pertama kali ditemukan oleh Lotfi

A. Zadeh pada tahun 1965. Istilah *fuzzy* digunakan untuk membedakan satu himpunan dengan himpunan lainnya yang berdasarkan dengan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas. Teori himpunan ini merupakan pengembangan dari teori himpunan tegas yang terinspirasi dari cara manusia mempersepsikan suatu nilai yang tidak jelas [26]. Nilai keanggotaan pada *fuzzy* tidak hanya bernilai 0 atau 1, melainkan juga menghadirkan besaran nilai yang terletak diantara 0 dan 1 [27]. Seperti dapat dianalogikan dalam keadaan suhu ruangan, pada himpunan tegas hanya terdapat dua nilai, yaitu dingin bernilai 0 dan panas bernilai 1. Dengan adanya himpunan *fuzzy*, nilai keanggotaan diantara 0 dan 1 dapat berupa sejuk, hangat, dan normal. Perancangan *fuzzy* terdiri dari tiga tahapan, yaitu *fuzzifikasi* (*fuzzification*), sistem inferensi *fuzzy* (*fuzzy inference sistem*) dan *Defuzzifikasi* (*defuzzification*). Hasil dari proses-proses tersebut tergantung dari variabel *fuzzy*, batas himpunan *fuzzy*, dan variabel non *fuzzy*.

Beberapa istilah yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy* :

1. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy* yang dapat berupa kecepatan, ketegangan, usia.

2. Himpunan *fuzzy*

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Himpunan *fuzzy* adalah suatu grup yang mewakili kondisi tertentu dalam suatu variabel *fuzzy* [26], contohnya seperti variabel suhu terbagi atas 5 himpunan *fuzzy*, yaitu : dingin, sejuk, normal, hangat, panas.

Himpunan *fuzzy* mempunyai dua atribut, yaitu :

- a. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami.
- b. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel.

3. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan merupakan suatu keseluruhan nilai yang diizinkan untuk digunakan dalam suatu variabel *fuzzy*. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif atau bilangan negatif.

4. Domain

merupakan semua nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam dalam suatu himpunan *fuzzy*. Nilai domain dapat terdiri dari bilangan positif dan juga bilangan negatif [28].

5. Fungsi keanggotaan (*Membership Function*)

merupakan kurva yang memetakan setiap titik-titik *input* ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1 [27].

2.5.1 Himpunan *fuzzy*

Pada logika *boolean*, satu individu hanya diizinkan menempati salah satu himpunan saja, sedangkan pada himpunan *fuzzy* sebuah individu bisa saja merupakan anggota dari pada dua himpunan yang berbeda. Seberapa besar pengaruhnya dalam himpunan tersebut dapat dilihat pada derajat keanggotaannya [28].

Himpunan *fuzzy* A pada semesta X dapat dinyatakan sebagai himpunan pasangan berurutan (*set of ordered pairs*) baik diskrit maupun kontinu.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (2.18)$$

Dengan μ_A merupakan bentuk fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* A . Fungsi keanggotaan memetakan setiap anggotanya pada suatu nilai yang terletak diantara $[0,1]$ yang disebut derajat keanggotaan (*membership grade* atau *membership value*). Sehingga $\mu_A(x)$

merupakan derajat keanggotaan x pada himpunan A , dimana x termasuk dalam semesta pembicaraan X .

Beberapa cara untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* adalah sebagai berikut [29]

1. Support

Support dari himpunan *fuzzy* A merupakan kumpulan semua titik $x \in X$ yang memberikan nilai $\mu_A(x) > 0$, atau

$$\text{Support}(A) = \{x | \mu_A(x) > 0\} \quad (2.19)$$

2. Crossover

Titik *crossover* dari himpunan *fuzzy* A terletak dititik dimana $\mu_A(x) = 0,5$ atau

$$\text{Crossover}(A) = \{\mu_A(x) = 0,5\} \quad (2.20)$$

3. Fungsi Singleton

Fungsi *singleton* merupakan himpunan *fuzzy* yang mempunyai *support* pada satu titik tunggal pada himpunan $x \in X$ dengan fungsi keanggotaan $= 1$

Sebagai contoh dapat dilihat pada tabel berikut ini. Dimana himpunan *fuzzy* X merupakan bilangan bulat dari 1 sampai 10 dengan derajat keanggotaan yang sudah ditentukan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 2 Nilai Derajat Keanggotaan Himpunan X

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\mu_A(x)$	0	0,1	0,5	1	1	1	0,8	0,5	0

maka:

support (X): {2,3,4,5,6,7,8}

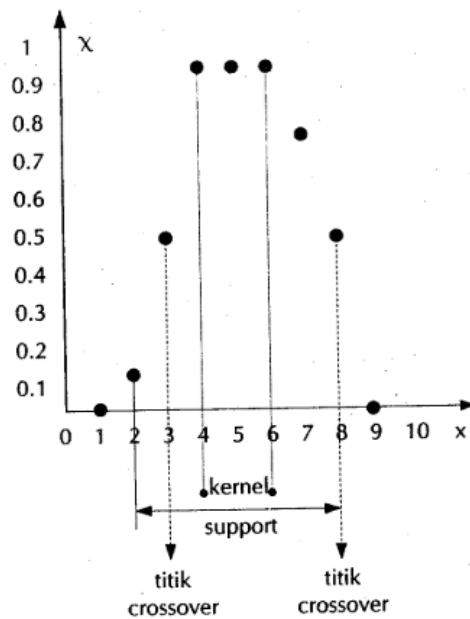
Titik *crossover*: {3,8}

Titik *singleton*: {4,5,6}

istilah-istilah Tabel 2.2 dapat direpresentasikan secara grafis pada gambar

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



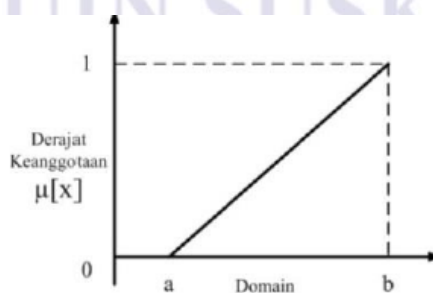
Gambar 2. 8 Istilah-Istilah Dalam Himpunan fuzzy

2.5.2 Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Fungsi keanggotaan merupakan kurva yang memperlihatkan derajat keanggotaan setiap *input* yang memiliki interval antara 0 sampai 1. pendekatan fungsi merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk memperoleh nilai keanggotaan [28]. Derajat keanggotaan dalam suatu himpunan fuzzy (*degree of membership*) dilambangkan dengan μ . Terdapat lebih dari satu bentuk fungsi keanggotaan (*Membership Function*) pada sistem fuzzy. Dan pada kali ini penulis hanya akan membahas fungsi keanggotaan yang akan digunakan dalam pemodelan sistem fuzzy. Beberapa diantaranya yaitu:

1. Representasi Liner naik

Pada himpunan ini kenaikan himpunan fuzzy dimulai nilai domain pada derajat keanggotaan terendah, kemudian bergerak naik ke kanan menuju ke nilai derajat keanggotaan yang lebih tinggi yang digambarkan sebagai suatu garis lurus [30].



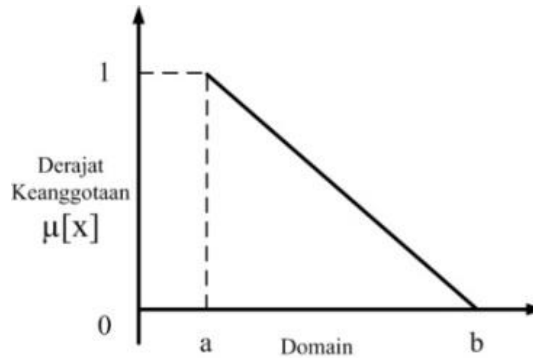
Gambar 2. 9 Representasi Linear Naik [26]

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Representasi Linear Turun

merupakan kebalikan dari representasi linear naik. Pada model ini kurva berbentuk garis lurus yang bergerak dari nilai tertinggi pada sebelah kiri menuju ke nilai keanggotannya lebih rendah di sebelah kanan[30].

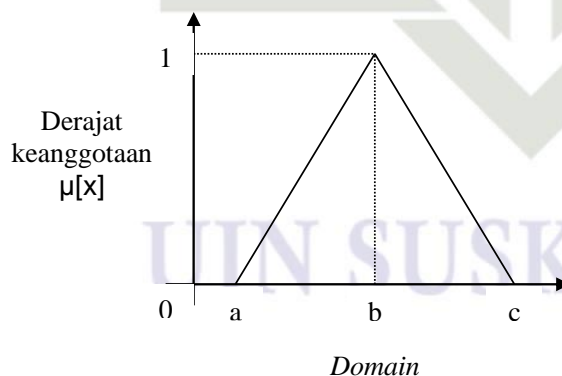


Gambar 2. 10 Representasi Linear Turun [26].

3. Representasi Segitiga

adalah bentuk representasi yang paling umum digunakan yang terdiri dari penggabungan antara dua garis linear yaitu representasi linear naik dan representasi linear turun [30]. kurva segitiga dapat dirumuskan pada persamaan berikut:

$$u_f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \\ 0; & x \geq c \end{cases} \quad (2.21)$$



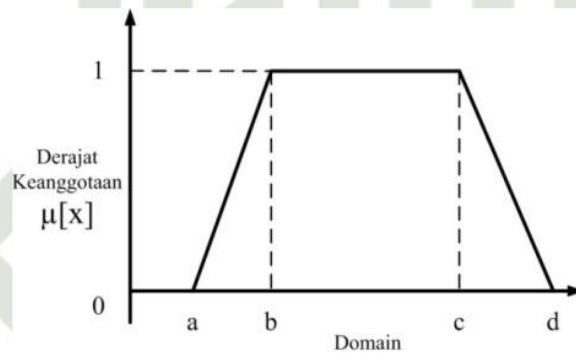
Gambar 2. 11 Fungsi Keanggotaan Kurva Segitiga [31].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Representasi Trapesium

Hampir sama dengan kurva segitiga tapi yang membedakan terdapat anggota himbunan yang memiliki derajat keanggotaan bernilai satu di beberapa titik nilai keanggotaannya[31].

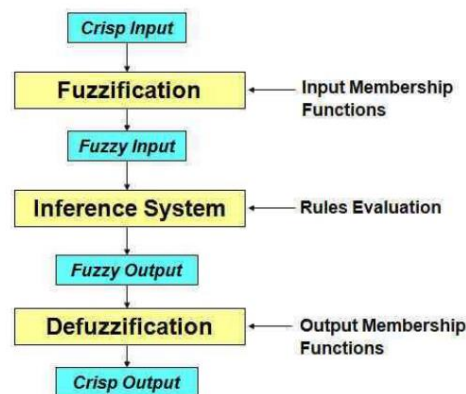
$$u_f(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}; & c \leq x \leq d \\ 0; & x \geq d \end{cases} \quad (2.22)$$



Gambar 2. 12 Representasi Trapesium [26]

2.5 Proses Utama Logika fuzzy

Logika fuzzy terdiri dari 3 proses yang bertahap, yaitu *fuzzifikasi*, inferensi fuzzy, dan *defuzzifikasi*.



Gambar 2. 13 Diagram Alur Dari Sistem Logika fuzzy[32].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.6.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah sebuah proses dimana seluruh variabel *input/output* yang berupa nilai tegas diubah ke bentuk himpunan *fuzzy*. Rentang nilai variabel *input* dikelompokkan menjadi beberapa himpunan *fuzzy* dan tiap anggota himpunan memiliki derajat keanggotaan tertentu. Derajat keanggotaan himpunan *fuzzy* dapat dihitung dengan menggunakan rumus fungsi keanggotaan dari segitiga fuzzifikasi[33].

Tidak ada ketentuan yang pasti, seberapa lebar fungsi-fungsi keanggotaan harus saling beririsan, namun untuk mengatur lebar fungsi keanggotaan dapat mengikuti acuan berikut[11]:

1. Jika fungsi keanggotaan lebih sempit, maka akan menghasilkan respon yang lebih cepat (nilai *rise time* yang kecil).
2. Jika fungsi keanggotaan lebih sempit, maka akan menghasilkan *osilasi*, *overshoot* dan *settling time* yang lebih besar.
3. jika fungsi keanggotaan lebih sempit, maka akan menghasilkan *steady-state error* yang lebih kecil.

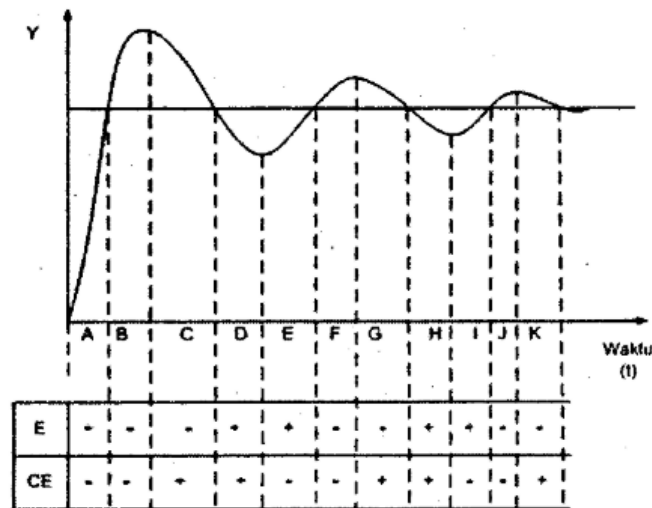
2.6.2 Inferensi fuzzy (logika Pengambilan Keputusan)

Setelah fungsi keanggotaan ditentukan, kemudian langkah selanjutnya adalah membuat *rule base* pengendalian untuk kemudian dapat mengubah setiap *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* berdasarkan aturan *if-then* yang telah ditentukan pada *rule base*. Tahap ini disebut sebagai tahap inferensi, yang merupakan bagian penentuan aturan dari sistem logika *fuzzy*[34].

Terdapat 2 cara untuk menentukan *rule base*, yaitu dengan metode deterministik dan heuristik. Pendekatan heuristik dibuat berdasarkan respon kualitatif pada *plant* yang di simulasikan secara *open loop*. Salah satu referensi untuk membuat *rule base* dengan tujuan memperpendek *rise time* dan meminimalkan *overshoot* dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan Tabel 2.3 dimana N(Negatif), Z(Zero), dan P(Positif).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 14 Respon Grafik Pada Bidang Fase [11].

Tabel 2. 3 Basis Aturan fuzzy Dengan Tiga Nilai Linguistik (N, Z, P) [11]

Aturan ke -	Error	Delta error	Output	Referensi	Fungsi
1	P	Z	P	Titik a, e, i	Memperpendek <i>Rise time</i>
2	Z	N	N	Titik b, f, j	Mengurangi <i>overshoot</i>
3	N	Z	K	Titik c, g, k	Mengurangi <i>overshoot</i>
4	Z	P	P	Titik d, h, l	Mengurangi <i>osilasi</i>
5	Z	Z	Z	Set point	Sistem berhenti
6	P	N	P	Rentang a, e	Memperpendek <i>Rise time</i>
7	N	N	N	Rentang b, f, j	Mengurangi <i>overshoot</i>
8	N	P	N	Rentang c, g	Mengurangi <i>overshoot</i>
9	P	P	P	Rentang d, h	Mengurangi <i>osilasi</i>
10	P	N	Z	Rentang l	Sistem berhenti
11	N	P	Z	Rentang k	Sistem berhenti

Selain itu terdapat 3 aturan yang harus dipatuhi dalam merancang *rule base*, yaitu:

1. Kelengkapan
2. Kekonsistenan
3. Kekontinuan

Sedangkan untuk operasi implikasi dapat memilih antar menggunakan *or* atau *and*.

2.6.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses kebalikan dari fuzzifikasi, defuzzifikasi bekerja dengan merubah nilai samar pada fuzzy menjadi nilai tegas yang merupakan masukan pada *plant*. *input* dari proses Defuzzifikasi adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan fuzzy, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan fuzzy tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan fuzzy dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai tegas (*crisp*) tertentu sebagai *output* [32].

Ada banyak metode defuzzifikasi yang dapat digunakan, tetapi yang paling umum digunakan adalah center of area (COA) dan mean of maximum (MOM). Metode COA yang lebih sering digunakan, menentukan pusat gravitasi (titik berat) distribusi peluang aksi kendali. Pada kasus semesta pembicaraan diskrit, metode COA dirumuskan sebagai berikut:

$$y^* = \frac{\sum y \mu_R(y)}{\sum \mu_R(y)} \dots\dots\dots (2.23)$$

Sebagai pembanding untuk memilih kriteria yang cocok dalam menentukan metode defuzzifikasi, berikut adalah rangkuman dari berbagai metode defuzzifikasi yang ada :

Tabel 2. 4 Rangkuman kriteria metode defuzzifikasi yang sering digunakan [11]

	COA	MOM	LOM	SOM	CEA
Kontinuitas	Baik	Kurang baik	Kurang baik	Kurang baik	Kurang baik
Disambiguitas	Baik	Baik	Baik	Baik	Kurang baik
Plasabilitas	Ya	Ya	Tidak	tidak	Ya
Komputasi	Kurang baik	Baik	baik	Baik	Kurang baik

2.6 Model fuzzy Mamdani

Model *mamdani* sering juga dikenal dengan nama metode *sum*. Model ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan *output* , diperlukan empat tahapan :

1. Pembentukan Himpunan fuzzy

Pada Model *Mamdani*, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Pada Model *Mamdani*, fungsi implikasi yang digunakan adalah *min*.

3. Komposisi Aturan

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tidak seperti penalaran monoton, apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada tiga cara yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu *max*, *additive* dan *probabilistic OR* (*prob or*).

a. Metode Max (Maximum)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR (union). Apabila digunakan fungsi implikasi *min*, maka metode komposisi ini sering disebut dengan nama *max-min* atau *min-max* atau *mamdani*.

b. Metode Additive (Max-Min)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-Max-Min* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*.

c. Metode Probabilistik OR (*prob or*)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*.

4. Defuzzifikasi

Ada beberapa bentuk metode *defuzzifikasi* yang digunakan pada model *mamdani*, yaitu: *Centroid*, *Bisektor*, *Mean of Maximum*, *Largest of Maximum* atau *Smallest of Maximum*[35].

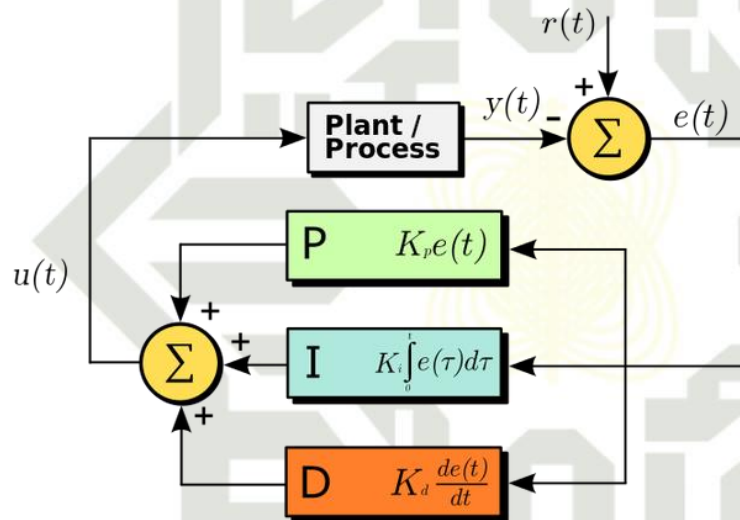
2.7 Sistem Kendali PID

Teknik kendali PID adalah pengendali yang merupakan gabungan antara aksi kendali proporsional ditambah aksi kendali integral ditambah aksi kendali derivatif [23]. Kombinasi jenis aksi kendali ini bertujuan untuk saling melengkapi kekurangan-kekurangan dari masing-masing aksi kendali. Sistem kendali PID dapat digunakan untuk menentukan presisi pada suatu sistem pengukuran dengan adanya umpan balik pada *set point* sistem tersebut. Pengendali PID mempunyai 3 komponen pengendali utama yaitu kendali *Proportional* (P) dan *Integrative* (I) dan *derivative*(D) yang memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri dan dapat saling membantu dalam mengerjakan suatu sistem. untuk lebih memudahkan, kekurangan dan kelebihan masing-masing kendali penulis sajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Tanggapan sistem kontrol PID terhadap perubahan parameter[36]

Tanggapan Sistem Loop Tertutup	<i>Rise time</i>	<i>Overshoot</i>	Waktu Turun	<i>Error steady state</i>
Proporsional (K_p)	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Integral (K_i)	meningkat	Meningkat	Meningkat	Hilang
Derivative (K_d)	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

Untuk memudahkan dalam memahami konsep teknik kendali PID silakan menyermati diagram blok pengendali PID pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2. 15 Diagram Blok Pengendali PID [37]

2.8.1 Kontrol Proporsional

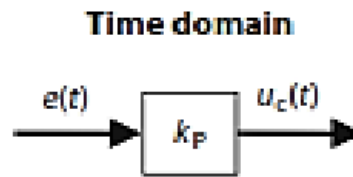
Kontrol proporsional adalah aksi kontrol yang paling dasar yang dipakai dalam dunia industri. dilambangkan dengan P dalam kontrol PID, pengontrol ini bekerja dengan menghasilkan *output* yang sebanding dengan *error* yang didapat dari hasil selisih antara *input* dan *set point*. *Time Domain* dari kontrol proporsional sebagai berikut:

$$\text{Time Domain : } u(t) = k_p e(t) \quad (2.24)$$

Dimana proporsional gain dilambangkan dengan k_p dan *error* dilambangkan dengan e .

Gambar 2.16 menunjukkan blok diagram kontrol proporsional.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 16 Blok Diagram Kontrol Proporsional[38].

Pengaruh kontrol P pada sistem, yaitu:

1. menambah maupun mengurangi tingkat kestabilan sistem.
2. dapat memperbaiki respon transien (antara lain: *rise time* dan *settling time*).
3. mengurangi *error steady state* (jika ingin menghilangkan *error steady state* membutuhkan nilai K_p yang besar sehingga akan menjadikan sistem lebih tidak stabil)[38].

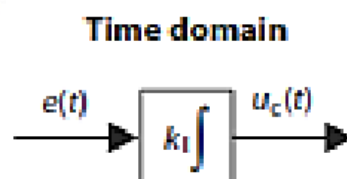
kelemahan pada kontrol proporsional yaitu selalu meninggalkan *offset* pada sinyal keluarannya sehingga kontroler ini tidak dapat digunakan sendiri. Pada banyak kasus, biasanya kontroler proporsional dikombinasikan dengan kontrol integral yang dapat menghilangkan *offset* yang ditinggalkan oleh kontrol proporsional [39].

2.8.2 Kontrol integral

Kontrol integral atau di sebut juga sebagai aksi kontroler *reset*. Kontroler ini bekerja dengan memberikan aksi koreksi terhadap *offset* yang dihasilkan oleh kontrol proporsional. Kontrol integral akan melakukan aksi koreksi berdasarkan waktu yang disetel padanya, misal an setiap 0,5 menit sekali. Kontroler ini tidak dapat berdiri sendiri sehingga harus dikombinasikan dengan kontrol proporsional. Keluaran kontrol ini sangat dipengaruhi oleh perubahan yang sebanding dengan nilai sinyal kesalahan. Dengan *Time Domain* berikut:

$$\text{Time Domain : } u(t) = k_I \int e(\tau) d\tau \quad (2.25)$$

Dimana *integral gain* dilambangkan dengan k_I . Gambar 2.17 menunjukkan blok diagram kontrol integral.



Gambar 2. 17 Blok Diagram Kontrol Integral[38].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pengaruh kontrol I pada sistem, yaitu:

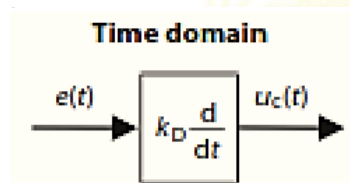
1. mampu menghilangkan *error steady state*.
2. respon yang diberikan kontrol ini pada sistem lebih lambat bila dibandingkan dengan kontrol P, kontrol ini dapat menimbulkan ketidakstabilan sebagai akibat dari penambahan orde sistem [38].

2.8.3 Kontrol Derivatif

Jika kontroler dapat menggunakan laju perubahan sinyal kesalahan sebagai masukan, maka kontrol ini memperkenalkan unsur prediksi kedalam tindakan kontrol. Kontrol derivatif menggunakan laju perubahan sinyal *error* dan dilambangkan dengan D dalam kontrol PID. Dengan *Time Domain* sebagai berikut:

$$\text{Time Domain : } u(t) = k_D \frac{de}{dt} \quad (2.26)$$

Dimana derivatif gain dilambangkan dengan k_D . Gambar 2.18 menunjukkan blok diagram kontrol derivatif.



Gambar 2. 18 Blok Diagram Kontrol derivatif[38].

Pengaruh kontrol D pada sistem, yaitu:

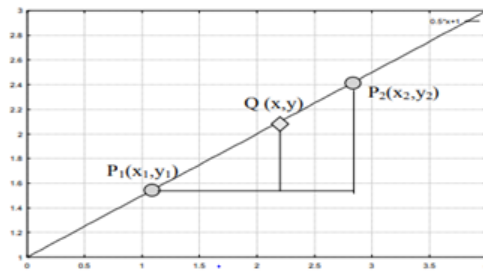
1. mampu memberikan efek redaman pada sistem yang berosilasi
2. mampu memperbaiki respon transien dengan memberikan aksi pada saat ada perubahan *error*

kontrol ini hanya berubah saat ada perubahan *error* sehingga pada saat ada *error* statis kontrol ini tidak beraksi, hal ini lah yang menyebabkan jika kontrol ini tidak dapat digunakan tanpa adanya kontrol P sehingga harus dikombinasikan dalam bentuk kontrol PD atau kontrol PID [38].

2.8.4 Interpolasi Linier

Interpolasi adalah menentukan titik-titik antara dari n buah titik dengan menggunakan suatu fungsi pendekatan tertentu. Salah satu metode interpolasi adalah

Interpolasi linier yaitu menentukan titik-titik antara 2 buah titik dengan menggunakan garis lurus.



Gambar 2. 19 Kurva Untuk Interpolasi Linier

Persamaan garis lurus yang melalui 2 titik $P_1(x_1, y_1)$ dan $P_2(x_2, y_2)$ dapat dituliskan dengan:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2.27)$$

Sehingga diperoleh persamaan dari interpolasi linier sebagai berikut :

$$y = y_1 + (x - x_1) \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (2.28)$$

Algoritma Interpolasi Linier adalah sebagai berikut :

1. Tentukan dua titik P_1 dan P_2 dengan koordinatnya masing-masing (x_1, y_1) dan (x_2, y_2)
2. Tentukan nilai x dari titik yang akan dicari
3. Hitung nilai y dengan persamaan
4. Tampilkan nilai titik yang baru $Q(x, y)$

2.8 Pengenalan Perangkat Lunak MATLAB R2014a

MATLAB R2014a atau singkatan dari *matrix laboratory* merupakan salah satu bahasa pemrograman tingkat tinggi yang banyak digunakan dalam berbagai disiplin ilmu. *Software MATLAB R2014a* populer dikenal sebagai alat bantu dalam pemecahan permasalahan matematis dengan tampilan grafik dan visualisasi yang baik. Beberapa pengaplikasian MATLAB R2014a mencakup ruang lingkup sebagai berikut :







1. Disain matematis
2. Simulasi, baik yang *real time* maupun tidak
3. *Tools* analisis & testing
4. Pemodelan sistem matematis
5. Visualisasi 2D dan 3D
6. Pengolahan data matematis (sinyal, citra dan lain-lain)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Salah satu kegunaan *MATLAB R2014a* pada bidang teknik elektro adalah sebagai *software* komputasi, simulasi, dan analisa. *MATLAB R2014a* juga didukung dengan berbagai *library* dan *tools* yang memudahkan dalam melakukan simulasi model matematis suatu *plant*. Salah satu *toolbox* *MATLAB R2014a* yang sering digunakan untuk melakukan simulasi adalah *simulink* *MATLAB R2014a*. *Simulink* dapat melakukan pemodelan, simulasi, dan pengujian terhadap kinerja sistem sehingga lebih menghemat biaya dari pada menggunakan *prototype* fisik.

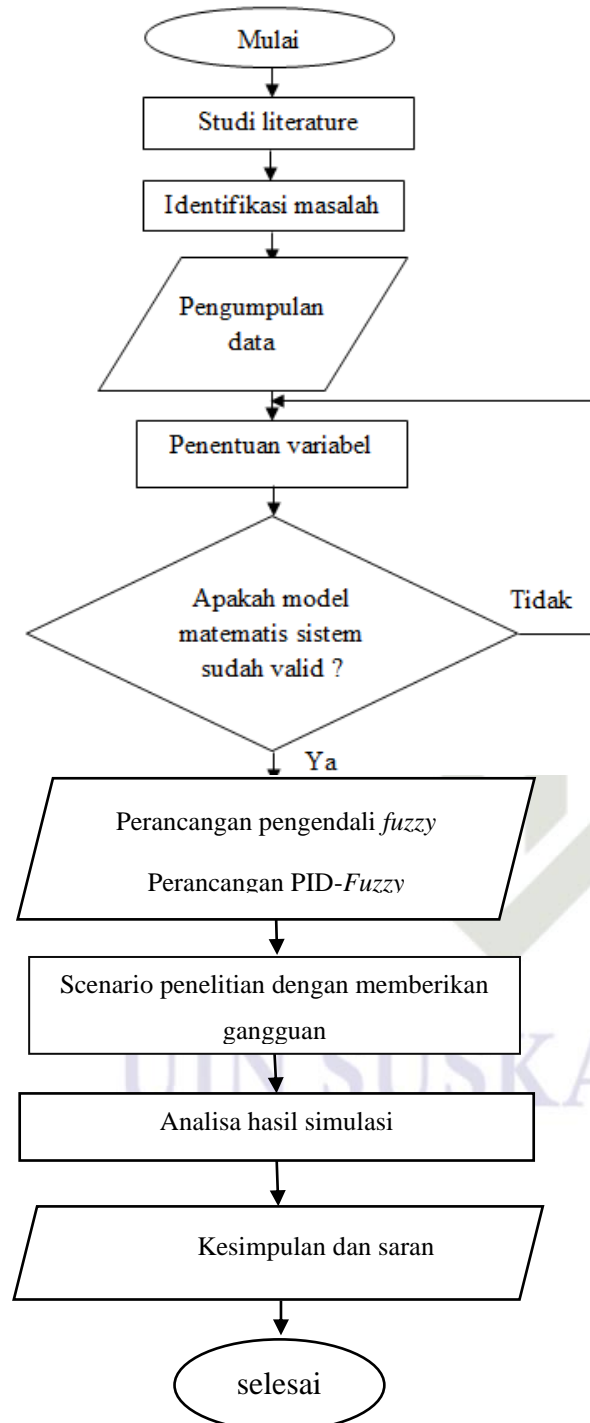
Beberapa *library* *simulink* *MATLAB R2014a* yang penulis gunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah *PID controller* dan juga *fuzzy logic controller*. Selain itu juga ada beberapa *block* tambahan pada *library* *simulink* yang biasa digunakan untuk melakukan simulasi suatu *plant*, diantaranya yaitu :

Tabel 2. 6 Fungsi *Block* Pada *Library* *Simulink*

Icon	Nama	fungsi
	<i>sum</i>	Melakukan penjumlahan/pengurangan <i>input</i> .
	<i>step</i>	Memberikan <i>input</i> sinyal <i>step</i> pada sistem, digunakan untuk menetapkan harga <i>set point</i> .
	<i>mux</i>	menggabungkan <i>inputnya</i> ke dalam <i>output</i> vektor tunggal.
	<i>gain</i>	Memberikan penguatan terhadap <i>input</i> dengan nilai yang konstan
	<i>Transfer function</i>	memodelkan suatu <i>plant</i> dengan fungsi <i>transfer</i> variabel <i>Laplace</i> .
	<i>scope</i>	Untuk melihat respon sistem terhadap sinyal masukan yang diberikan.

3.1 Proses Alur Penelitian

Guna mempermudah penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir, penulis membagi proses penelitian menjadi beberapa tahapan yang sistematis dan menjabarkan setiap tahapannya kedalam *flowchart* sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3.2 Tahapan Penelitian

Berdasarkan informasi *Flowchart* Penelitian di atas, tahapan penelitian yang lebih rinci dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Menentukan topik permasalahan

Tentukan topik permasalahan yang akan dibahas yang berhubungan dengan ruang lingkup Teknik elektro dan juga konsentrasi elektronika instrumentasi. Pada penelitian kali ini penulis akan mengangkat topik mengenai pengendalian *web tension* pada *rewinder roll*.

2. Identifikasi Masalah

Langkah selanjutnya kenali masalah pada *rewinder roll*. Dimana pada unit ini mensyaratkan pengendalian yang dapat menjaga *setpoint* agar tetap berada pada 0,5 N.

6. Studi Literatur

Tahapan selanjutnya yaitu studi literatur dimana dalam tahapan ini peneliti mencari dan mempelajari penelitian terkait dari beberapa referensi baik dari buku, jurnal, *paper* atau sumber lainnya. Adapun hal yang perlu dipelajari adalah karakteristik *plant rewinder roll*, pemodelan matematis *web tension* pada *rewinder roll*, karakteristik pengendali PID dan *fuzzy* serta nilai-nilai parameter pada *plant rewinder roll*

7. Pengumpulan Data

Pada tahap ini data-data yang terkait akan dikumpulkan untuk mengetahui katakteristik dari sistem yang akan diteliti meliputi data *setpoint* sebesar 0.5 N dan data-data yang berhubungan dengan perancangan pengendali data ketetapan *transfer function* sistem yang akan diujikan yaitu *web tension* pada *Rewinder Roll*

$$TF = \frac{a}{bs^2 + cs + d} \quad (3.1)$$

8. Penentuan Variabel

Setelah didapatkan nilai masing-masing variabel pada tahap pengumpulan data, maka selanjutnya variabel-variabel tersebut disubtitusikan kedalam pemodelan matematis sistem dalam bentuk persamaan *transfer function* adalah sebagai berikut :

$$G_p = \frac{2.088 \times 10^{-6}s + 717.922}{s^2 + 31.9885s + 173.535237} \quad (3.2)$$

9. Validasi Model Matematis

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

10. Lakukan pengujian model matematis yang sudah didapatkan sebelumnya dalam bentuk fungsi alih. Pada tahap ini penulis melakukan pengujian dengan aplikasi *Simulink MATLAB R2014A*, lalu analisa sinyal keluaran. Apakah sudah sesuai dengan rujukan jurnal *web tension pada rewinder roll* ? [17]
11. Perancangan pengendali

Pada penelitian ini penulis mencoba menggunakan pengendali gabungan PID-*fuzzy*. Pada perancangan pengendali *fuzzy*, penulis menentukan terlebih dahulu variabel *input* dan *output*-nya dan juga membuat *rule base*. Setelah itu merancang pengendali PID, lalu menggabungkan antara pengendali PID dan *fuzzy*.
12. Skenario penelitian

Skenario penelitian merupakan tahapan/langkah secara umum tentang penelitian yang dilakukan seperti melakukan pengujian terhadap sistem atau *plant*
13. Analisa Hasil

Analisa performansi pengendali gabungan PID-*fuzzy* dilakukan dengan analisa respon sistem orde 2 yang meliputi *rise time*, *overshoot*, *settling time*, serta *error steady state*.
14. Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisa hasil dan sesuai dengan tujuan maka penelitian yang dilakukan berhasil dan dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian. Serta memberikan saran-saran yang berguna untuk dijadikan referensi penelitian selanjutnya.

3.3 Perubahan Pemodelan Matematis Ke Fungsi Transfer

Berdasarkan persamaan 2.14 model fungsi alih sistem *rewinder roll*, dengan memasukkan nilai-nilai parameter yang terdapat pada tabel 2.1 maka, didapatkan *transfer function* sebagai berikut :

$$\frac{T}{\tau} = \frac{\frac{1.056 \text{ m}(1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2) \times (1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}{2(3)} \left(\frac{5 \text{ N sec/m}^2}{1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2} s + 1 \right)}{s^2 + \left(\frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ N m/rad/sec}}{144.967 \text{ kgm}^2} + \frac{152 \text{ m/sec}}{5 \text{ m}} + \frac{1.056^2}{4(3)^2} \times \frac{5 \text{ N sec/m}^2 \times 1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{144.967 \text{ kgm}^2 \times 5 \text{ m}} \right) s + \frac{2.25 \times 10^{-3} \text{ N m/rad/sec}}{144.967 \text{ kgm}^2} \times \frac{152 \text{ m/sec}}{5 \text{ m}} + \frac{1.056^2}{4(3)^2} \times \frac{1719 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \times 1.72 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{144.967 \text{ kgm}^2 \times 5 \text{ m}}} \quad (3.3)$$

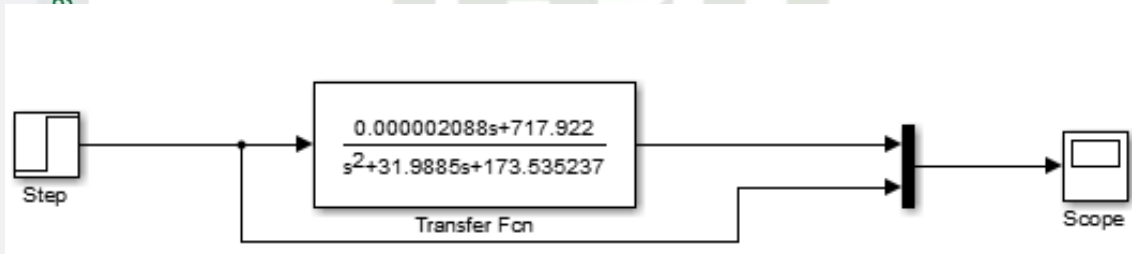
$$\frac{T}{\tau} = \frac{2.088 \times 10^{-6} s + 717.922}{s^2 + 31.9885 s + 173.535237} \quad (3.4)$$

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Pada persamaan 3.4 dapat dilihat bahwa fungsi transfer adalah rasio perbandingan antara transformasi laplace *output* dengan transformasi laplace *input*, dimana torsi motor(τ) berupa variable manipulasi(*input*), sedangkan tension (T) adalah variable proses(*output*)

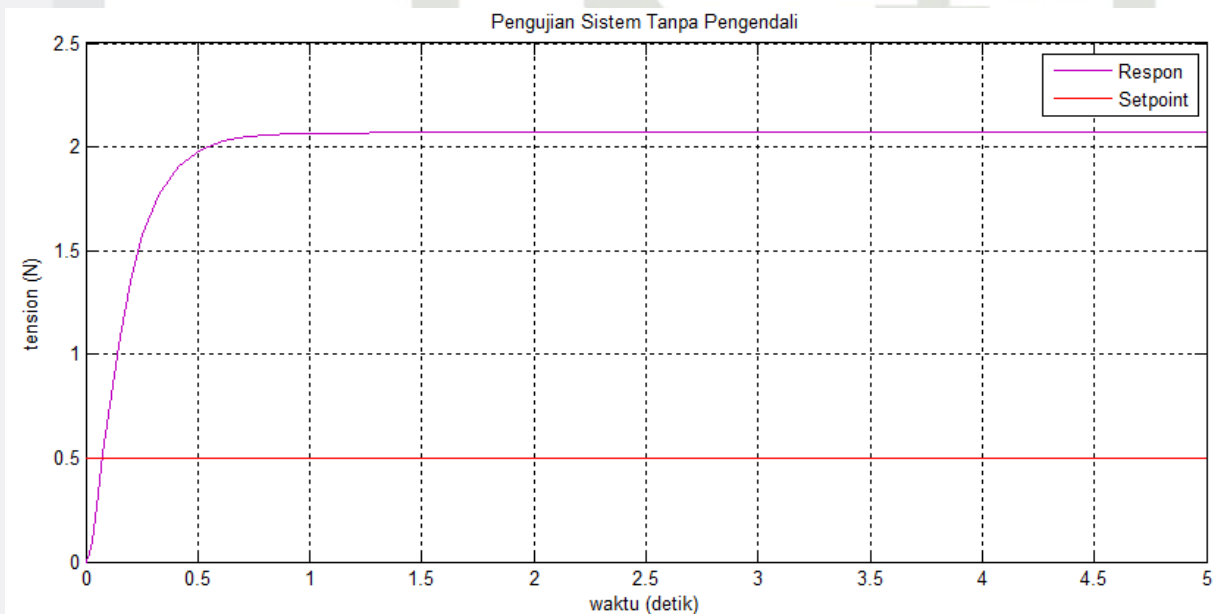
3.4 Verifikasi dan Validasi Model Matematis

Untuk melakukan validasi model matematis, penulis akan mensimulasikan *plant* *rewinder roll* pada aplikasi *MATLAB R2014A Simulink*. Simulasi *plant* dilakukan tanpa pengendali secara *open loop* dengan memasukkan nilai-nilai pada persamaan 3.4 pada blok *transfer function*. Dan untuk harga *set point* penulis menetapkan 0,5 N. sehingga rangkaian *open loop* dapat disusun sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Rangkaian *Open loop Rewinder roll*

Pada hasil keluaran *plant* berupa grafik 2 dimensi dimana garis merah mewakili *set point* dan garis ungu merupakan sinyal keluaran dari respon *plant* tanpa pengendali.



Gambar 3. 3 *Respon Plant Secara Open loop*

berdasarkan gambar Grafik 3.4 diatas, dengan melakukan pendekatan validasi replikatif dapat dilihat bahwa model matematis yang disimulasikan valid karena data grafik

sesuai dengan data pengujian secara *openloop* pada penelitian [21] dan [6]. setelah dilakukan analisa *plant* orde 2 diketahui bahwa pada *plant* tidak terjadi *osilasi* dan juga *overshoot*, sehingga dapat dikatakan *plant* tersebut stabil. Tetapi respon keluaran memiliki selisih dengan *set point* sebesar 1,5 N.

3.4 Perancangan Pengendali Fuzzy Pada *Rewinder Roll*

Pada tahap perancangan ini penulis menggunakan model *fuzzy* mamdani. Tipe *fuzzy* mamdani dipilih karena perancangannya yang sederhana dan mudah dipahami oleh pakar [11]. Perancangan pengendali *fuzzy* terdiri dari 3 tahap, yaitu:

3.4.1 Fuzzifikasi

Pada proses ini, variabel linguistik diubah ke dalam bentuk himpunan *fuzzy*. Variabel linguistik *input fuzzy* terdiri dari *error* dan *delta error*, dimana:

$$e(t) : y_p(t) - y(t)$$

$$\Delta e(t) : e(t) - e(t - 1)$$

Lebar semesta pembicaraan untuk *error* dan *delta error* diambil dari nilai *error steady state* hasil simulasi *open loop* dari *rewinder roll* yaitu 1,5N. sedangkan untuk lebar semesta pembicaraan pada variabel *output* diambil dari nilai *set point* yaitu 0,5N. untuk fungsi keanggotaan penulis menggunakan bentuk segitiga (*triangle*) dan trapesium (*trapezium*), penggunaan jenis trapesium adalah untuk mencari nilai rata kiri dan rata kanan, penggunaan jenis segitiga untuk menentukan nilai tengahnya.

3.4.2 Rule base

Ada 2 pendekatan yang dipakai dalam merancang *rule base*, yaitu pendekatan heuristik dan pendekatan deterministik. Pada penelitian ini penulis akan menggunakan pendekatan heuristik yang dirasa lebih mudah dalam pengaplikasiaannya. Pada pendekatan heuristik, *rule base* dirancang berdasarkan pengetahuan kualitatif dari respon *plant* secara *openloop*. pada perancangan *plant* yang bertujuan untuk menghasilkan respon *plant* dengan nilai *rise time* yang cepat dan *overshoot* yang kecil, maka aturan-aturan Tabel 2.3 dapat dijadikan sebagai acuan dalam merancang *rule base*. adapun *rule base* yang penulis rancang dapat dilihat sebagai berikut:

if (error is positif) and (Derror is negatif) then (output is sedang)

if (error is positif) and (Derror is zero) then (output is besar)

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- if (error is positif) and (Derror is positif) then (output is besar)
- if (error is zero) and (Derror is negatif) then (output is kecil)
- if (error is zero) and (Derror is zero) then (output is sedang)
- if (error is zero) and (Derror is positif) then (output is besar)
- if (error is negatif) and (Derror is negatif) then (output is kecil)
- if (error is negatif) and (Derror is zero) then (output is kecil)
- if (error is negatif) and (Derror is positif) then (output is sedang)

Tabel 3. 1 Rule base fuzzy

<i>Derror</i> <i>error</i>	Negatif	Zero	Positif
Negatif	Kecil	Kecil	Sedang
Zero	Kecil	Sedang	Besar
Positif	Sedang	Besar	Besar

3.4.3 Defuzzifikasi

Metode *defuzzifikasi* yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *centroid* berdasarkan karakteristiknya yang dapat dilihat pada Tabel 2.4 sebelumnya.

3.4.4 Proses Menentukan Lebar Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Pada proses penentuan lebar fungsi keanggotaan, pertama-tama penulis menentukan lebar fungsi keanggotaan pada nilai tengah yaitu e , De , dan S . Mula mula semua fungsi keanggotaan diatur dengan titik perpotongan berada di titik derajat keanggotaan 0,5 dimana nilai fungsi keanggotaan variabel *input error* dan *delta error* untuk rata kiri dan kanan di atur pada titik $[-1.5 -1.5 -0,5 0]$ dan $[0 0,5 1.5 1.5]$. sedangkan untuk nilai rata kiri dan kanan pada variabel *output* diatur pada titik $[-0,5 -0,5 -0,15 0]$ dan $[0 0,15 0,5 0,5]$. Kemudian penulis memperkecil lebar fungsi keanggotaan e , De , dan S . mempersempit lebar fungsi keanggotaan bertujuan untuk mempercepat *rise time* dan juga menghasilkan *error steady state* yang lebih kecil, tetapi dengan konsekuensi akan menyebabkan sistem menjadi tidak stabil. Pada proses *tunning fuzzy* berikut akan dipilih lebar fungsi keanggotaan dengan nilai *rise time* terkecil. Respon keluaran sistem dengan berbagai rentang fungsi keanggotaan dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 3. 2 Proses Menentukan Lebar Fungsi Keanggotaan E , De , Dan S

NO	Lebar fungsi keanggotaan			<i>Rise</i> <i>time</i>
	<i>Error(e)</i>	<i>Delta error(De)</i>	<i>Output(S)</i>	

1	[-0,5 0 0,5]	[-0,5 0 0,5]	[-0,16 0 0,16]	0,1077
2	[-0,4 0 0,4]	[-0,5 0 0,5]	[-0,16 0 0,16]	0,1035
3	[-0,3 0 0,3]	[-0,5 0 0,5]	[-0,16 0 0,16]	0,0989
4	[-0,2 0 0,2]	[-0,5 0 0,5]	[-0,16 0 0,16]	0,0970
5	[-0,1 0 0,1]	[-0,5 0 0,5]	[-0,16 0 0,16]	0,1001
6	[-0,1 0 0,1]	[-0,4 0 0,4]	[-0,16 0 0,16]	0,1001
7	[-0,1 0 0,1]	[-0,3 0 0,3]	[-0,16 0 0,16]	0,1001
8	[-0,1 0 0,1]	[-0,2 0 0,2]	[-0,16 0 0,16]	0,1001
9	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	[-0,16 0 0,16]	0,0976
10	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	[-0,14 0 0,14]	0,0986
11	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	[-0,12 0 0,12]	0,0998
12	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	0,1011
13	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	[-0,08 0 0,08]	0,1026
14	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	[-0,06 0 0,06]	0,1046
15	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	[-0,04 0 0,04]	0,1071
16	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	[-0,02 0 0,02]	0,1105
17	[-0,1 0 0,1]	[-0,1 0 0,1]	[-0,01 0 0,01]	0,1116

Pada Tabel 3.2 di atas dapat dilihat bahwa pada percobaan ke-1 hingga ke-5, penulis mengatur lebar fungsi keanggotaan variable *error* pada domain (*e*) terlebih dahulu dengan memperkecil lebar fungsi keanggotaan secara teratur sebanyak 0,1. Pada percobaan ke-1 hingga ke-4 didapatkan nilai *Rise time*nya semakin kecil, tetapi pada percobaan ke-5 nilai *Rise time* naik Kembali menjadi 0,1001 detik.

Kemudian pada percobaan ke-6 hingga ke-9 penulis mempersempit lebar fungsi keanggotaan variable delta error pada domain (*De*) secara bertahap sebesar 0,1. Pada percobaan ke-6 hingga ke-8 didapati nilai *rise time* tidak mengalami perubahan yaitu 0,1001 detik dan pada percobaan ke-9 nilai *rise time* Kembali turun menjadi 0,0976 detik.

Selanjutnya pada percobaan ke-10 hingga 17, penulis secara teratur memperkecil lebar fungsi keanggotaan variable *output* pada domain (*S*) sebanyak 0,02. Dapat dilihat pada Tabel 3.2, nilai *rise time* terus meningkat seiring dengan semakin kecilnya lebar fungsi keanggotaan. dan juga pada percobaan ke -16 dan percobaan ke-17 sistem mengalami *osilasi*. Berdasarkan table di atas, maka nilai yang akan diambil untuk lebih lanjut adalah nilai pada percobaan ke-4 dimana menghasilkan *rise time* terkecil yaitu sebesar 0,0970 detik

Selanjutnya penulis menentukan lebar fungsi keanggotaan pada batas kiri dan kanan. Respon sistem berdasarkan perubahan lebar fungsi keanggotaan dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 3.3 Proses Menentukan Lebar Fungsi Keanggotaan $E(+), E(-), De(+), De(-), B$ Dan K

	Lebar fungsi keanggotaan						Rise time
	Error(-)	Error(+)	Delta error(-)	Delta error(+)	K	B	
1	[-1,5 -1,5 -0,5 0]	[0 0,5 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,5 0]	[0 0,5 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	0,0967
2	[-1,5 -1,5 -0,4 0]	[0 0,4 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,5 0]	[0 0,5 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	0,0994
3	[-1,5 -1,5 -0,3 0]	[0 0,3 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,5 0]	[0 0,5 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	[0 0,15 0,5 0,5]	0,0996
4	[-1,5 -1,5 -0,2 0]	[0 0,2 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,5 0]	[0 0,5 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	[0 0,15 0,5 0,5]	0,1032
5	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,5 0]	[0 0,5 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	[0 0,15 0,5 0,5]	0,1109
6	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,4 0]	[0 0,4 1,5 1,5]	[-0,5 -0, -0,15 0]	[0 0,15 0,5 0,5]	0,1052
7	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,3 0]	[0 0,3 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	[0 0,15 0,5 0,5]	0,1118
8	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,2 0]	[0 0,2 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	[0 0,15 0,5 0,5]	0,1076
9	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,15 0]	[0 0,15 0,5 0,5]	0,1109
10	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,1 0]	[0 0,1 0,5 0,5]	0,1089
11	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-1,5 -1,5 -0,1 0]	[0 0,1 1,5 1,5]	[-0,5 -0,5 -0,05 0]	[0 0,05 0,5 0,5]	0,1118

Pada Tabel 3.3 di atas dapat dilihat bahwa pada percobaan ke-1 hingga ke-5, penulis mengatur lebar fungsi keanggotaan variable *error* pada domain (e-) dan (e+) terlebih dahulu dengan memperkecil lebar fungsi keanggotaan secara teratur sebanyak 0,1. Pada percobaan ke-1 hingga ke-4 didapatkan nilai *Rise time*nya semakin besar

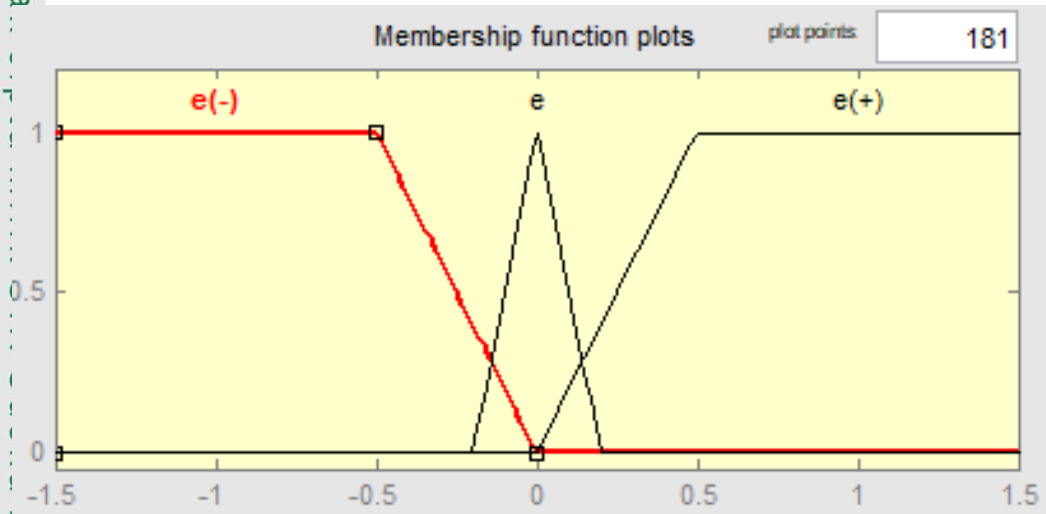
Kemudian pada percobaan ke-6 hingga ke-9 penulis mempersempit lebar fungsi keanggotaan variable delta error pada domain (De-) dan (De+) secara bertahap sebesar 0,1 dan dapat dilihat bahwa respon sistem menghasilkan nilai *rise time* yang bervariasi naik dan turun

Selanjutnya pada percobaan ke-10 dan ke-11, penulis secara teratur memperkecil lebar fungsi keanggotaan variable *output* pada domain (K) dan (B) sebanyak 0,5. Dapat dilihat pada Tabel 3.3, nilai *Rise time* terus meningkat seiring dengan semakin kecilnya lebar fungsi keanggotaan.. Berdasarkan tabel di atas, maka nilai yang akan diambil untuk lebih lanjut adalah nilai pada percobaan ke-1 dimana menghasilkan *Rise time* terkecil yaitu sebesar 0,0967 detik

Berdasarkan Tabel 3.2 dan 3.3 didapatkan rentang tiap-tiap fungsi keanggotaan sebagai berikut.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



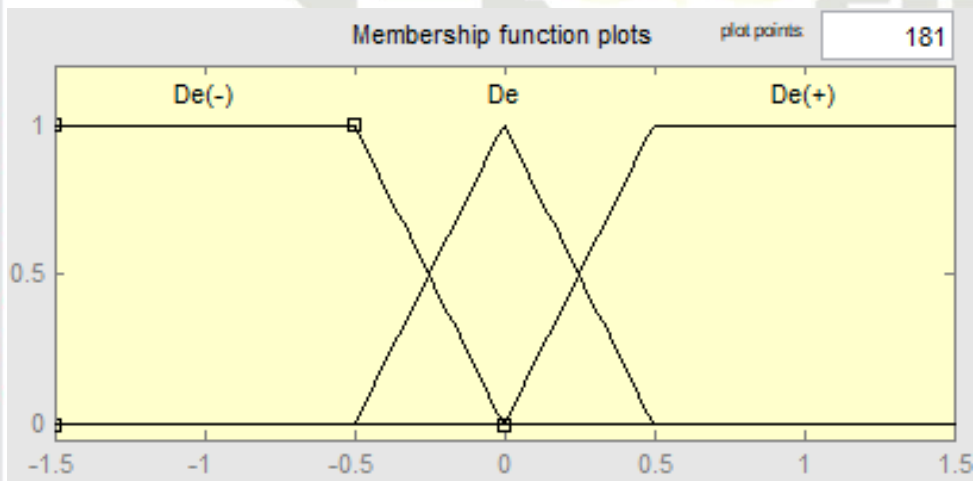
Gambar 3. 4 Variabel *Input Error*

pada variabel *input error* terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu :

$$e(-) = [-1.5 \ -1.5 \ -0,5 \ 0]$$

$$e = [-0,2 \ 0 \ 0,2]$$

$$e(+)= [1.5 \ 1.5 \ 0,5 \ 0]$$



Gambar 3. 5 Variabel *Input Delta Error*

pada variabel *input delta error* terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu :

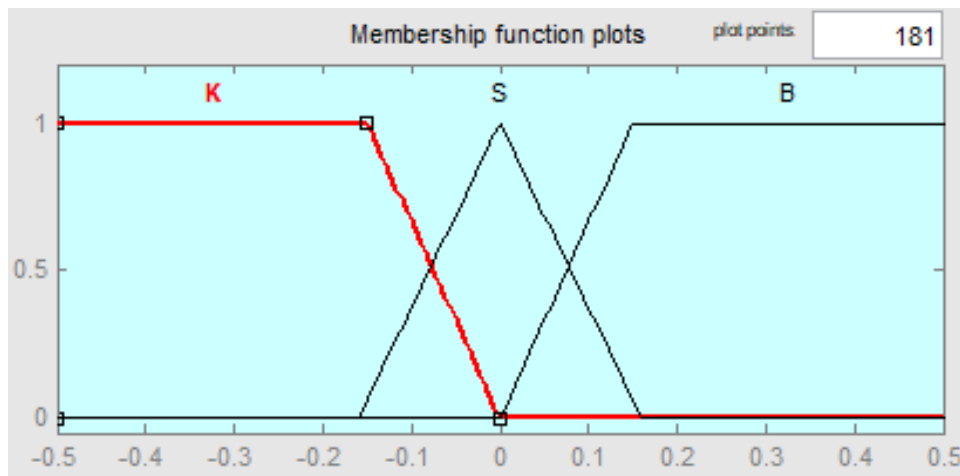
$$De(-) = [-1.5 \ -1.5 \ -0,5 \ 0]$$

$$De = [-0,5 \ 0 \ 0,5]$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$De(+)= [0 \ 0,5 \ 1,5 \ 1,5]$$



Gambar 3. 6 Variabel *Output*

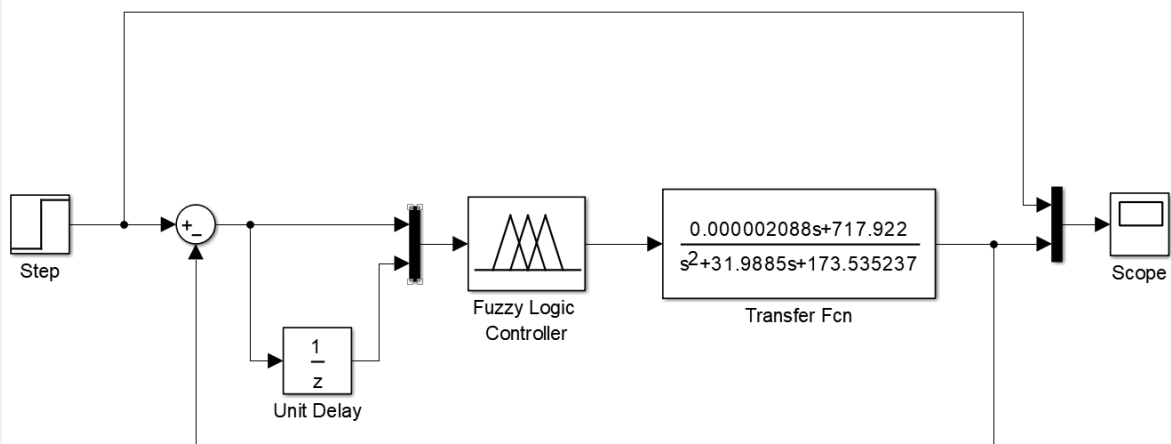
pada variabel *output* terdiri dari 3 himpunan *fuzzy* yaitu

$$K = [-0,5 \ -0,5 \ -0,15 \ 0]$$

$$S = [-0,16 \ 0 \ 0,16]$$

$$B = [0 \ 0,15 \ 0,5 \ 0,5]$$

untuk rangkaian sistem kendali *fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 3.7.



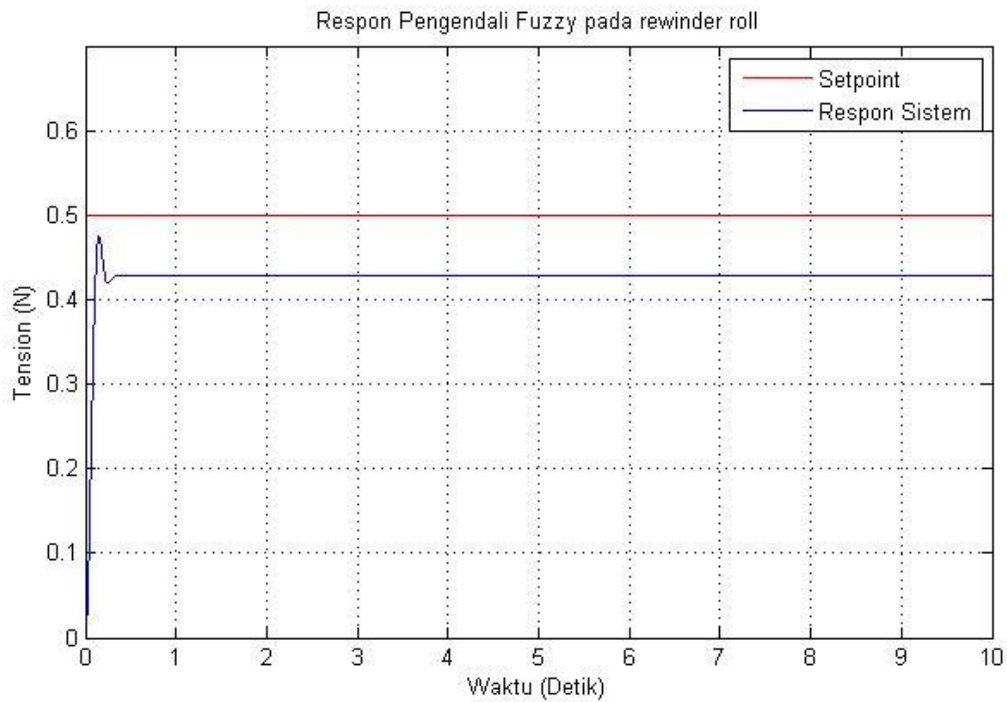
Gambar 3. 7 Blok Rangkaian Sistem Kendali *fuzzy*

untuk rangkaian sistem kendali *fuzzy* dapat dilihat pada Gambar 3.8



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 8 Hasil Respon Pengendali fuzzy Pada *Plant Rewinder roll*

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa kendali fuzzy dapat menghasilkan *rise time* yang cepat tetapi masih memiliki *overshoot* sebesar 0,06 % dan error sebesar 0,0828N

3.5 Perancangan kendali PID pada *rewinder roll*

Adapun metode yang dipakai untuk perancangan kendali PID pada *rewinder roll* adalah metode heuristik dengan melakukan penalaan secara berkala terhadap tiap-tiap parameter k_p , k_i dan k_d . Berikut adalah Tabel proses penentuan nilai parameter PID.

Tabel 3. 4 Proses Penentuan Nilai K_p , K_i , Dan K_d

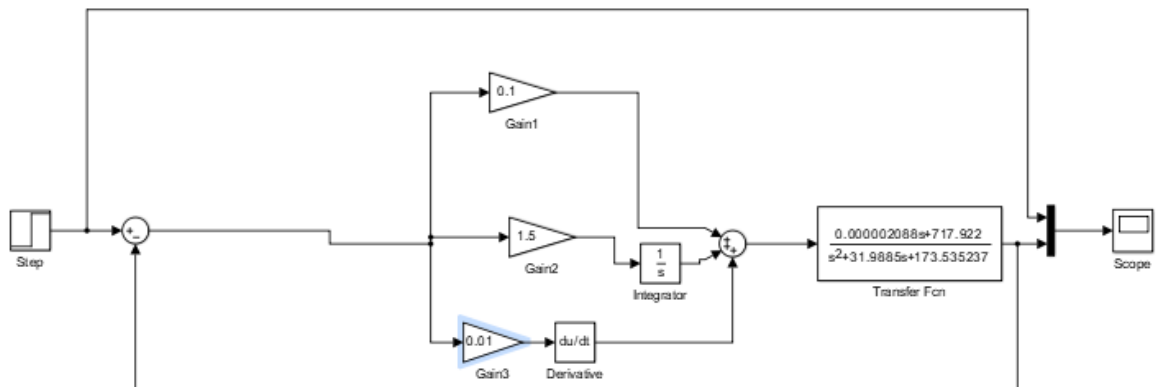
No	K_p	K_i	K_d	<i>Rise time</i>	<i>Error</i>	Keterangan gambar
	0,1	0,1	0	5,6056	-0,0172	Gambar terlampir
	0,1	0,5	0	2,2772	0	Gambar terlampir
	0,1	1	0	17,307	0	Gambar terlampir
	0,1	1,5	0	0,4292	0	Gambar terlampir
	0,1	1,5	0,1	0,5161	0	Gambar terlampir
	0,1	1,5	0,5	1,3955	0	Gambar terlampir

7.	0,1	1,5	0,01	0,3545	0	Gambar terlampir
8.	0,1	1,5	0,05	0,4355	0	Gambar terlampir

Dari Tabel di atas dapat dilihat pada percobaan pertama penulis menetapkan nilai $K_p=0$ dan $K_i=0,1$ untuk melihat bagaimana respon keluaran dengan pengendali PID. Dapat dilihat bahwa nilai *rise time* di atas 5 detik dan masih terdapat *error* sehingga selanjutnya penulis menaikkan secara berkala nilai K_i untuk menghilangkan nilai *error*. Dapat dilihat pada percobaan ke-2 hingga percobaan ke-4 nilai *error* dapat dihilangkan.

Untuk menghilangkan *overshoot* pada percobaan ke-4, penulis memasukkan nilai parameter K_d pada percobaan ke-5 dan percobaan ke-6, tetapi hasil respon keluaran pengendali memiliki *overshoot* yang semakin besar dan juga menimbulkan *osilasi*. Kemudian nilai K_d diperkecil menjadi 0,01 dan juga 0,05. dan kedua percobaan ini sistem memperoleh kinerja yang lebih baik dengan penambahan nilai K_d 0,01 dengan dengan mempertimbangkan nilai *rise time* terkecil yaitu 0,3545 detik

Berikut merupakan rangkaian kendali PID pada *Simulink MATLAB R2014a*.



Gambar 3. 9 Rangkaian Pengendali PID Pada *Rewinder roll*

3.6 Perancangan kendali fuzzy-PID pada *rewinder roll*

Pada tahap perancangan selanjutnya, hasil tuning optimal dari kendali *fuzzy* kemudian dihubungkan seri dengan kendali PID dengan harapan kendali PID dapat memperbaiki *overshoot* dan *error* sebelumnya yang dihasilkan oleh kendali *fuzzy*. Parameter pada kendali PID ditata ulang dengan menggunakan metode heuristik yang mana tiap tiap parameter k_p ,

Ki dan Kd tidak bersifat *independent*. Sehingga harus dicari kombinasi nilai Kp, Ki, dan Kd yang sesuai dengan cara menaikkan nilai parameter Kp, Ki, dan Kd secara bertahap.

Tabel 3. 5 Proses Penentuan Nilai Kp,Ki, Dan Kd

NO	Kp	Ki	Kd	Rise time	overshoot	error	Keterangan gambar
1	0,1	0,1	0	0,3558	0	0,3841	Gambar terlampir
2	0,5	0,1	0	0,1660	0	0,1376	Gambar terlampir
3	1	0,1	0	0,0970	0,02	0,0828	Gambar terlampir
4	1	0,5	0	0,1188	0,0443	0	Gambar terlampir
5	1	1	0	0,1152	0,0250	0	Gambar terlampir
6	1	1	0,01	0,2892	0	0	Gambar terlampir
7	1	1	0,05	0,1238	0	0	Gambar terlampir
8	1,5	1	0,05	0,2372	0	0	Gambar terlampir

Dari Tabel 3.5 pada percobaan ke-1 hingga percobaan ke-3 penulis menaikkan nilai Kp secara berkala untuk melihat respon keluaran pengendalian pada *plant rewinder roll*. Didapati bahwa respon keluaran dapat memperkecil nilai *rise time* tetapi tetap meninggalkan *error* sebesar 0,0828, namun tanpa *overshoot* ataupun *osilasi*.

Untuk memperbaiki *error*, pada percobaan ke-4 hingga ke-5 penulis menaikkan nilai parameter Ki secara bertahap untuk menghilangkan *error*. Dan pada percobaan ke-5 dan percobaan ke-5 nilai *error* berhasil dihilangkan, Tetapi mengalami *overshoot* dari nilai *steady statenya*.

Kemudian nilai Kd diberikan pada percobaan ke-6,7,8. Dapat dilihat pada percobaan ke-7 *overshoot* yang dihasilkan sebelumnya dapat diredam. Berdasarkan table diatas dipilih nilai parameter PID dengan kriteria nilai *rise time* paling kecil dengan dimana nilai parameter PID yang optimal adalah pada percobaan ke-7 dan kemudian akan dianalisa lebih lanjut respon waktunya.

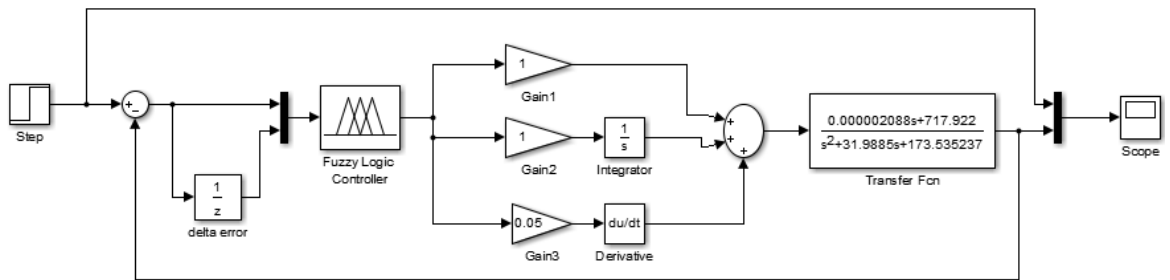
Berikut merupakan rangkaian kendali gabungan *fuzzy-PID* pada *Simulink MATLAB R2014a*.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Di larang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

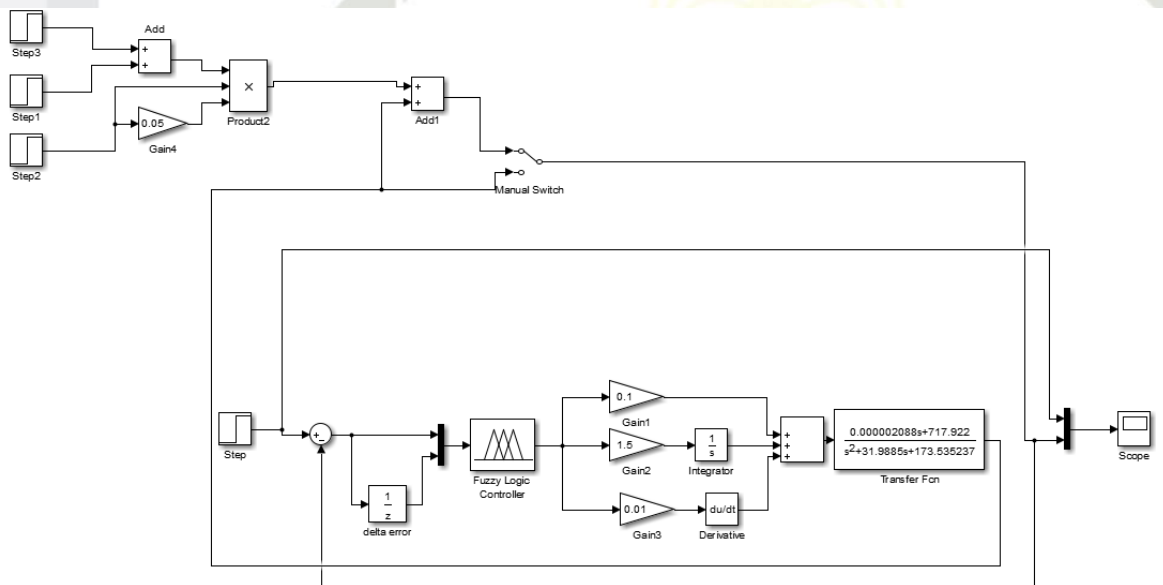
2. Di larang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 10 Rangkaian Pengendali fuzzy-PID Pada Rewinder roll

3.7 Perancangan Pengendali Fuzzy-PID Pada Rewinder roll Dengan Penambahan Sinyal Gangguan

Untuk mengetahui bagaimana performansi pengendali fuzzy-PID dalam mengatasi sinyal gangguan pada *plant*, dapat dilakukan simulasi pada *Simulink MATLAB R2014a* dengan memberikan sinyal gangguan berupa sinyal *step* sebesar 10%. rangakain kendali fuzzy dengan penambahan sinyal gangguan dapat dilihat pada Gambar 3.12 di bawah ini.



Gambar 3. 11 Rangkaian Kendali fuzzy-PID Pada Rewinder roll Dengan Penambahan Sinyal Gangguan

3.8 Hasil Data Penelitian yang Akan Diamati

Pengujian sistem dilakukan dengan cara simulasi dengan *software MATLAB2014a*. setelah simulasi dilakukan maka hasilnya akan dianalisa apakah sudah sesuai dengan tujuan penelitian yaitu mendapatkan ketegangan kertas yang sesuai dari pengendalian *rewinder roll* dengan menerapkan kendali gabungan fuzzy-PID. Pada penelitian ini akan diambil data

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

respon transient dari setiap pengujian untuk mengetahui seberapa cepat sistem dalam mencapai *setpoint* meliputi :

1. *Rise time*/ Waktu Tunak (t_r)

Nilai *Rise time* yang digunakan pada penelitian ini adalah 5% sampai 95% dari *set point*

2. *Time settling*/ Waktu Tunak (t_s)

Pada penelitian ini ukuran waktu yang digunakan yaitu ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk $\pm 2\%$ dari keadaan *steady state*.

3. Waktu tunda / *Delay time* (t_d)

Ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan *steady state* terhadap *input*, diukur mulai dari $t=0$ sampai dengan respon 50% dari respon *steady state*

4. *Maksimum Overshoot*

Nilai puncak kurva tanggapan diukur dari satuan.

5. *Error steady state*

selisih nilai yang terukur dengan nilai yang sebenarnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Haris, "RI Produsen Kertas No 6 Terbesar Dunia," *Kementrian Perindustrian Republik Indonesia*, 2017. <https://kemenperin.go.id/artikel/16596/2017,-RI-Produsen-Kertas-Nomor-6-Terbesar-Dunia> (accessed Nov. 12, 2019).
- [2] A. Sulistyono Rini, "Industri pulp dan kertas Indonesia Masuk 10 Besar Dunia," *ekonomi.bisnis.com*, 2019. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20190127/257/882862/industri-pulp-dan-kertas-indonesia-masuk-10-besar-dunia> (accessed Nov. 12, 2019).
- [3] Perlaungan, "Quality Control Untuk Produksi Kertas PT X Paper Products Menggunakan Metode Six Sigma," *Fak. Sains dan Teknol. Univ. Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*, 2011.
- [4] L. Parinduri and B. Harahap, "Penerapan Metode Statistical Process Control Dalam Mengendalikan Kualitas Kertas Bobbin (Studi Kasus : PT . Pusaka Prima Mandiri)," vol. 3814, 2018.
- [5] K. Choi, T. T. Tran, and D. Kim, "Back-Stepping Controller Based Web Tension Control for Roll-to-Roll Web Printed Electronics System *," vol. 5, no. 1, pp. 7–21, 2011, doi: 10.1299/jamdsm.5.7.
- [6] S. Jamil, "Desain Pengendalian Web Tension Pada Roll Winder Menggunakan Kendali Optimal LQR," *Fak. Sains dan Teknol. Univ. Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau*, no. 155, 2018.
- [7] J. Damour, "Web Tension 101," 2004. <https://www.pffc-online.com/magazine/2889-paper-web-tension> (accessed Jan. 26, 2019).
- [8] dkk Suparto, "Analisa Kualitas Produk Di Pt . Surabaya Meka Box Ltd Dengan Metode Six Sigma Dan Fmea," pp. 978–979, 2018.
- [9] W. Wang, "An Enhanced Diagnostic System for Gear System Monitoring," *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B*, vol. 38, no. 1, pp. 102–112, Feb. 2008, doi: 10.1109/TSMCB.2007.908864.
- [10] T. R. Biyanto, "Sistem Pengendalian Web Tension Menggunakan Kontroler Robust PID," *J. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 63–68, 2005, doi: 10.9744/jtm.7.2.pp.63-68.
- [11] D. ana ratna Wati, *Sistem Kendali Cerdas*, 1st ed. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2011.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

- [12] L. P. Ayuningtias, M. Irfan, and J. Jumadi, "Analisa Perbandingan Logic Fuzzy Metode Tsukamoto, Sugeno, Dan Mamdani (Studi Kasus : Prediksi Jumlah Pendaftar Mahasiswa Baru Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung)," *J. Tek. Inform.*, vol. 10, no. 1, 2017, doi: 10.15408/jti.v10i1.5610.
- [13] S. Bachri, "Sistem kendali Hybrid PID-Logika Fuzzy Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC," *Makara Teknol.*, vol. 8, no. 1, pp. 25–34, 2004.
- [14] S. F. Situmorang, A. Triwiyatno, and B. Setiyono, "Perancangan Sistem Kontrol Hybrid Fuzzy Pi Untuk Pengaturan Ignition Timing Pada Model Spark Ignition Engine," *Transient*, vol. 4, no. 3, pp. 727–733, 2015.
- [15] E. Joelianto, "Linear hybrid reference control systems," 2000.
- [16] G. Ponniah, M. Z. Yang-, H. O. I. Doh, and K. Choi, "Fuzzy logic based control design for active dancer closed loop web tension control," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 2, no. 3, pp. 438–443, 2012.
- [17] A. Kadik and W. Wang, "Adaptive Force Control of in Web Handling Systems," *Intell. Control Autom.*, vol. 03, no. 04, pp. 329–336, 2012, doi: 10.4236/ica.2012.34038.
- [18] BLH Nobel, "Web Tension Design," pp. 1–15, 2016.
- [19] P. M. Devices, "Three techniques that can improve your automated packaging equipment performance The seal of the century — web tension control," pp. 1–8.
- [20] Vector Solution, "Paper Machine Winding Basics," *Vector Solution*, 2015. <https://www.convergencetraining.com/paper-machine-winding-basics.html> (accessed Mar. 15, 2020).
- [21] A. R. Jumardi, "PENGARUH PENAMBAHAN PENGENDALI PD PADA PENGENDALI MRAC DALAM MENGATASI OSILASI PADA SISTEM REWINDER ROLL," 2020.
- [22] B. Wulandari, "Pengantar Sistem Kendali," 2014. .
- [23] K. Ogata, "Teknik kontrol otomatis," vol. 2, p. 381537, 1997, [Online]. Available: https://mafiadoc.com/queue/teknik-kontrol-otomatis-jilid-2-katsuhito-ogata-alih-library-um_5a0dcb051723dd4f3ab09901.html.
- [24] A. Putri, "Pengertian Sistem Kontrol / Sistem Kendali," *PT. Dipta Kencana Teknologi*, 2016. <https://www.diptakencana.co.id/pengertian-sistem-kontrol-sistem-kendali/> (accessed Jan. 29, 2019).

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- [25] A. Triwiyatno, "Konsep Umum Sistem Kontrol," *Aris Triwiyatno*, p. 2, 2017, [Online]. Available: <http://aristriwiyatno.blog.undip.ac.id/files/2011/10/Bab-1-Konsep-Umum-Sistem-Kontrol.pdf>.
- [26] A. Setiawan, B. Yanto, and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy Dengan Matlab*. Bali, Indonesia: Jayapangus Press, 2018.
- [27] P. M. Prihatini, "Metode Ketidakpastian Dan Kesamaran Dalam Sistem Pakar," no. November 2012, 2015.
- [28] M. Hellmann, "Fuzzy Logic Introduction," no. 1, 1965.
- [29] N. Oktavia, Marimin, and Herdiyeni, "Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pembentukan Tipe Data Fuzzy dan Querynya pada Sistem Basis Data," *Dep. Ilmu Komput. - FMIPA Inst. Pertan. Bogor*, 2004.
- [30] S. Kusumadewi, *Analisis Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Edisi Pert. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2002.
- [31] Martha Oktriani, "Aplikasi Pendukung Keputusan Dengan Menggunakan Logika Fuzzy," *Fak. Teknol. Inf. Univ. Kristen Satya Wacana Salatiga*, 2008.
- [32] Sumantri, E. Rudiawan, and W. Wibowo, "Plant Integrity Monitoring Menggunakan Ultrasonic Dengan Metode Fuzzy Decision Support Berbasis Wireless," *J. Integr.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–11, 2015, [Online]. Available: <file:///D:/KULIAH/SKRIPSI/DAFTAR PUSTAKA/DASAR SISTEM KENDALI/01-Paper-Plant-integrity-monitoring-berbasis-Fuzzy-Sumantri.pdf>.
- [33] S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- [34] H. Wibawanto, "Pengendali Berbasis Logika Kabur," *Elektro Indones*.
- [35] Sutikno, "Perbandingan Metode Defuzzifikasi Aturan Mamdani Pada Sistem Kendali Logika Fuzzy (Studi Kasus Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC)," *Elektro, Jur. Tek. Tek. Fak. Semarang, Univ. Diponegoro*, pp. 1–10, 2011.
- [36] M. Ali, "Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol Pid Dengan Software Matlab," *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 1, p. 2, 2004.
- [37] T. Suyadhi, "Teknik Kendali PID," *Robotics University*, 2015. <http://www.robotics-university.com/2015/02/teknik-kendali-pid.html> (accessed Feb. 09, 2020).
- [38] Triyono, "Aplikasi Kontrol Pid Dengan Software Matlab," *Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Tangerang*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

[39] H. M. I. H. Ariyanto, Ir.Syamsul Arifin, MT, “Perancangan Sistem Pengendalian Level Deaerator Menggunakan Fuzzy Gain Schedulling-PI di PT PEtrowidada,” *ITS Institutional Repos.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2012.



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

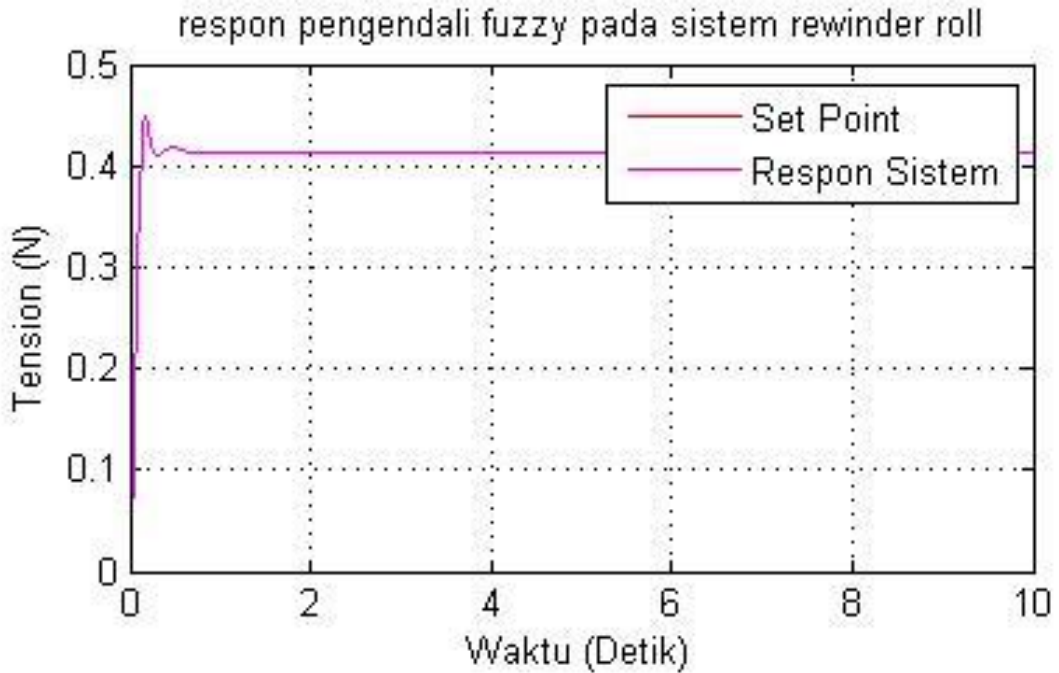
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

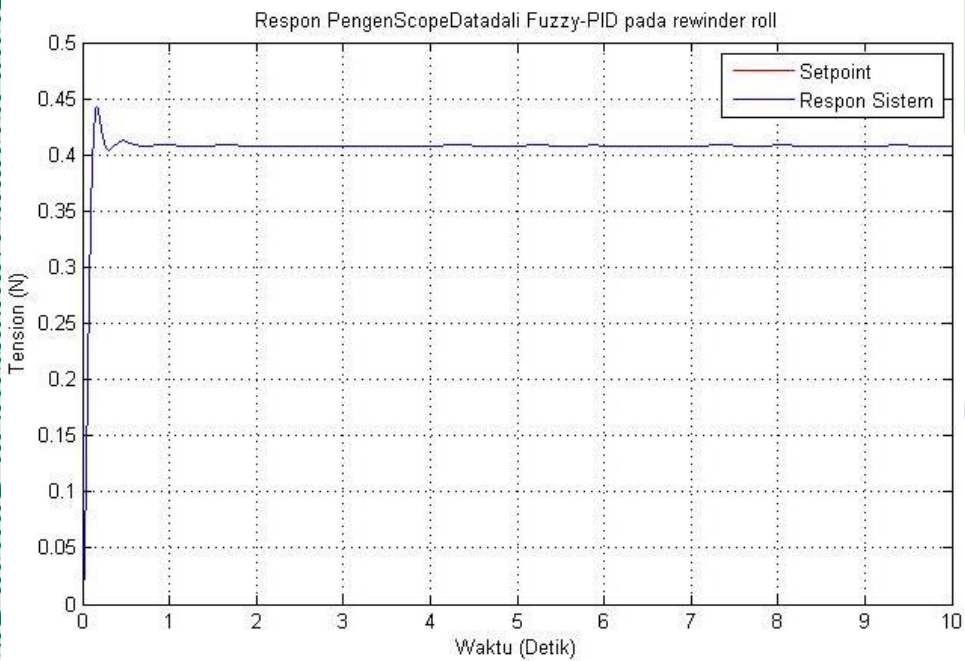
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN A

- Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) $[-0,5 \ 0 \ 0,5]$, (De) $[-0,5 \ 0 \ 0,5]$ dan (K) $[-0,16 \ 0 \ 0,16]$



- Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) $[-0,4 \ 0 \ 0,4]$, (De) $[-0,5 \ 0 \ 0,5]$ dan (K) $[-0,16 \ 0 \ 0,16]$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

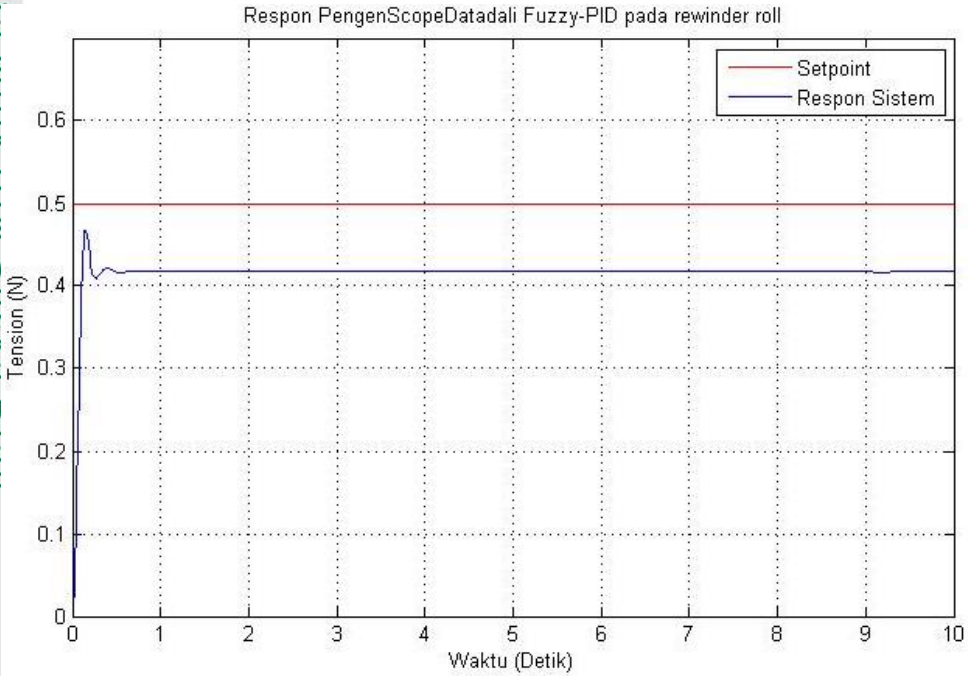
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

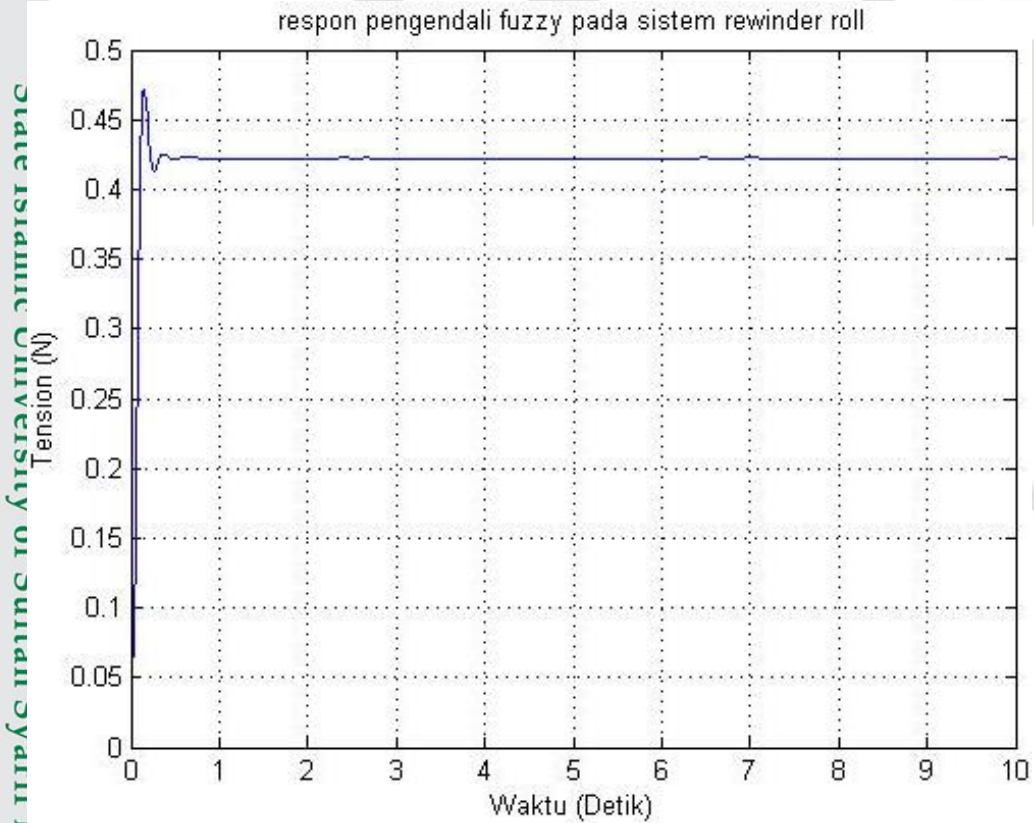
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta UIN SUSKA RIAU

Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) [-0,3 0 0,3], (De), [-0,5 0 0,5] dan (K) [-0,16 0 0,16]



4. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) [-0,2 0 0,2], (De), [-0,5 0 0,5] dan (K) [-0,16 0 0,16]



State Islamic University of Surin yauu Kasim Riau

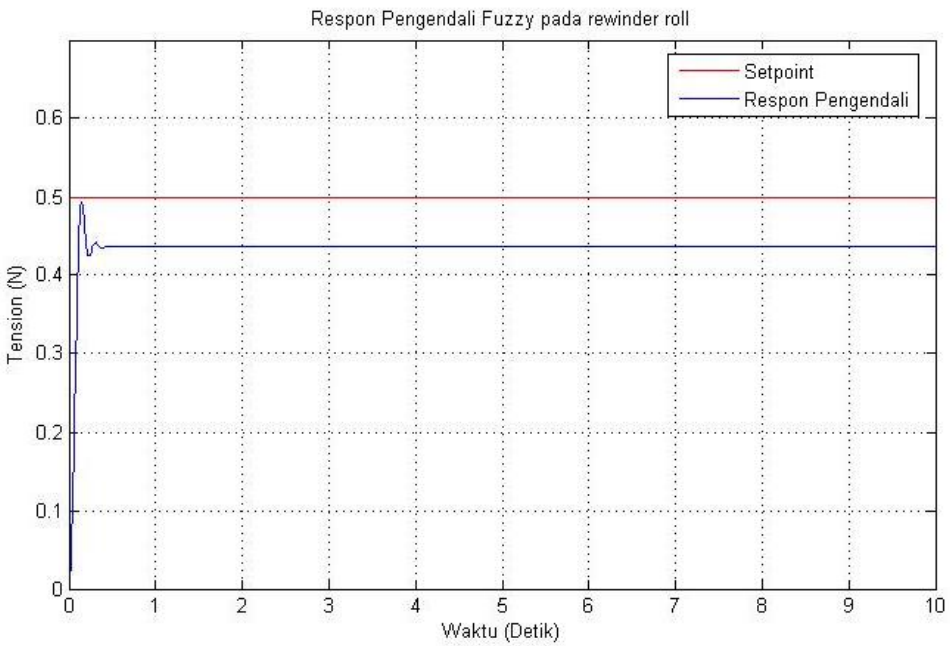
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

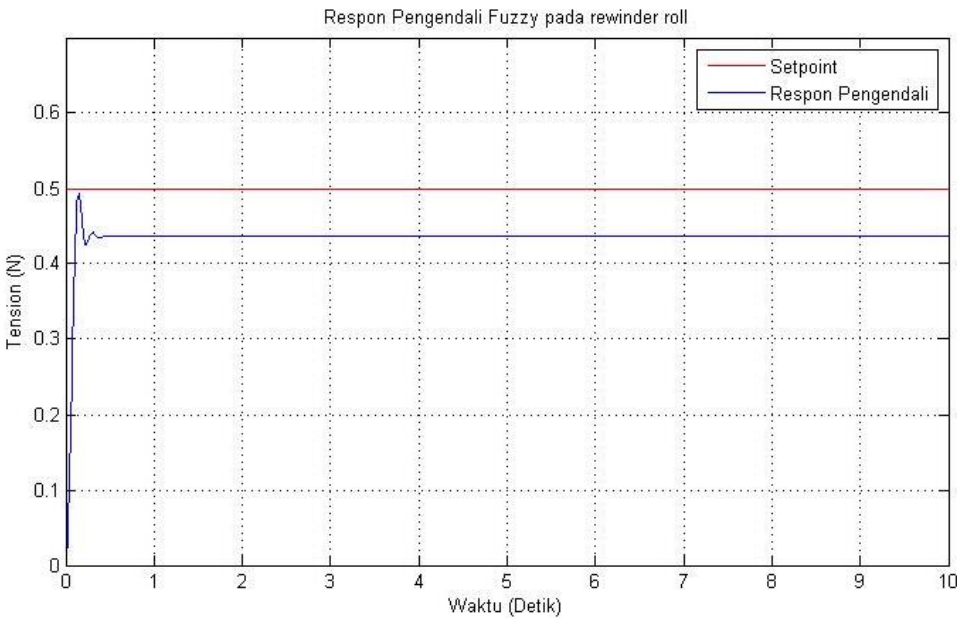
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) [-0,1 0 0,1], (De), [-0,5 0 0,5] dan (K) [-0,16 0 0,16]



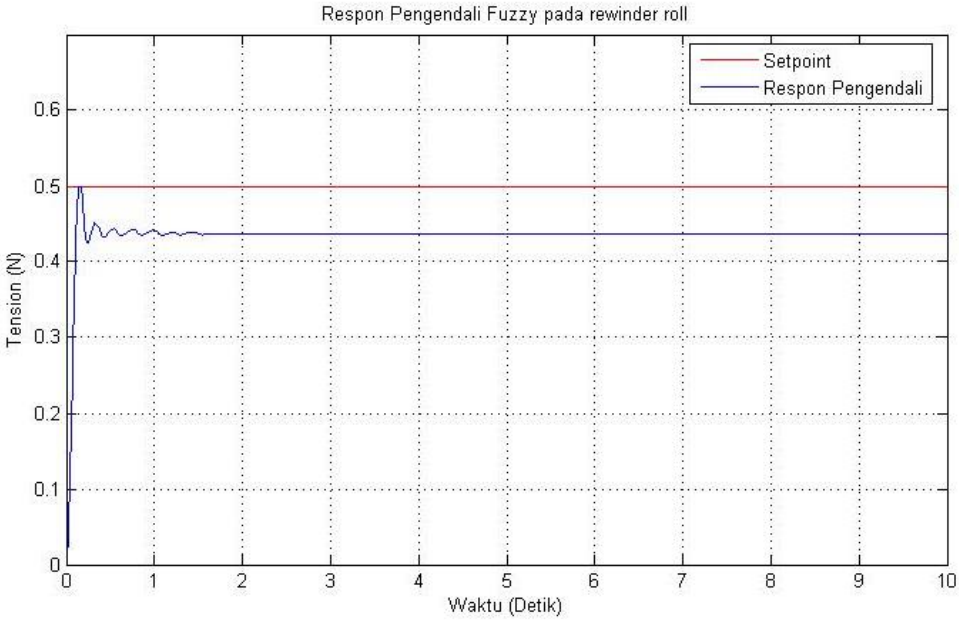
6. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) [-0,1 0 0,1], (De), [-0,4 0 0,] dan (K) [-0,16 0 0,16]



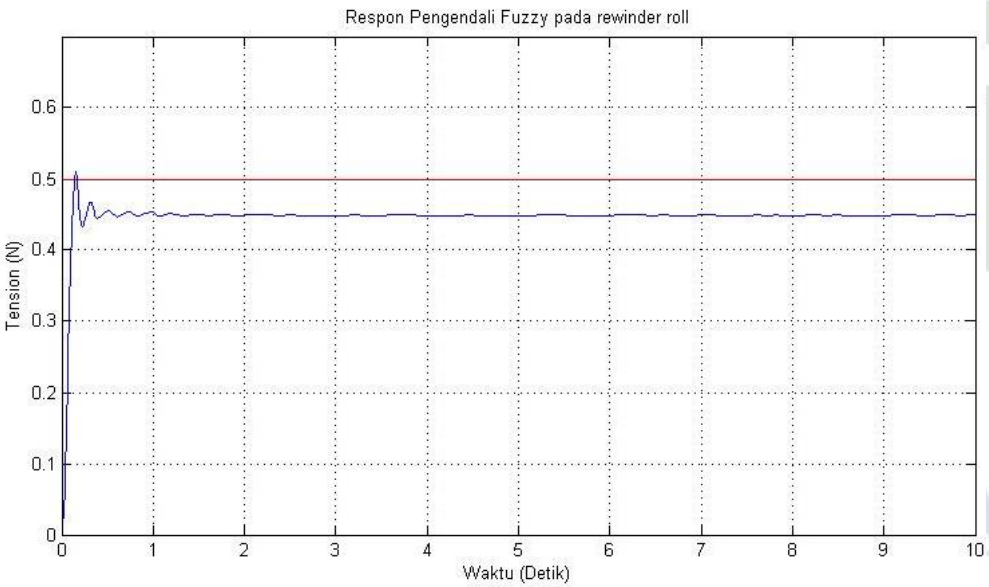
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) [-0,1 0 0,1], (De), [-0,3 0 0,3] dan (K) [-0,16 0 0,16]



8. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) [-0,1 0 0,1], (De), [-0,2 0 0,2] dan (K) [-0,16 0 0,16]

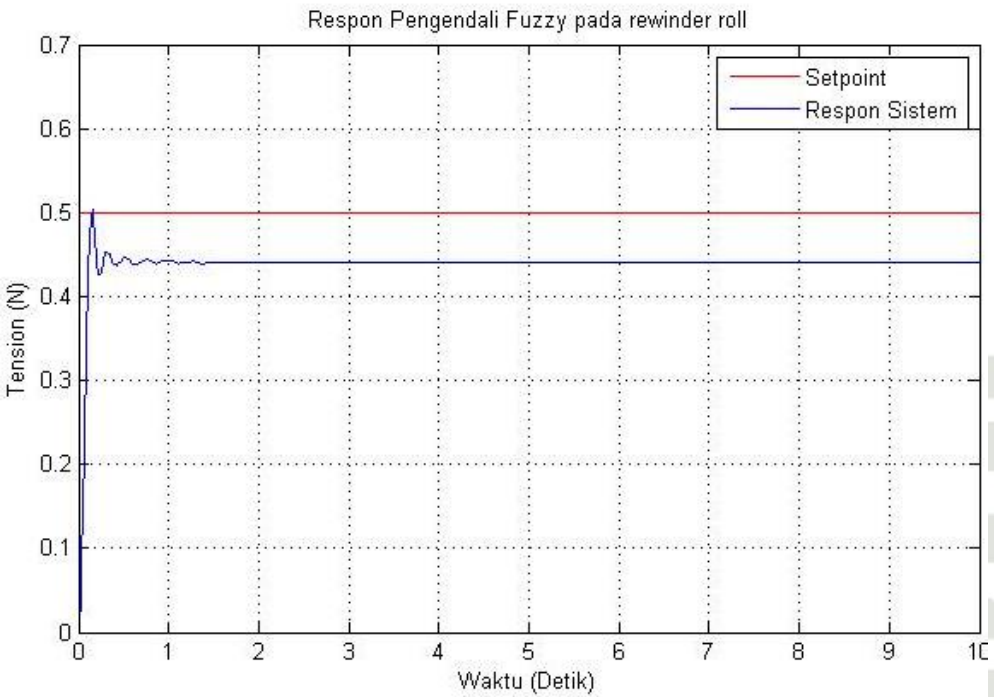


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

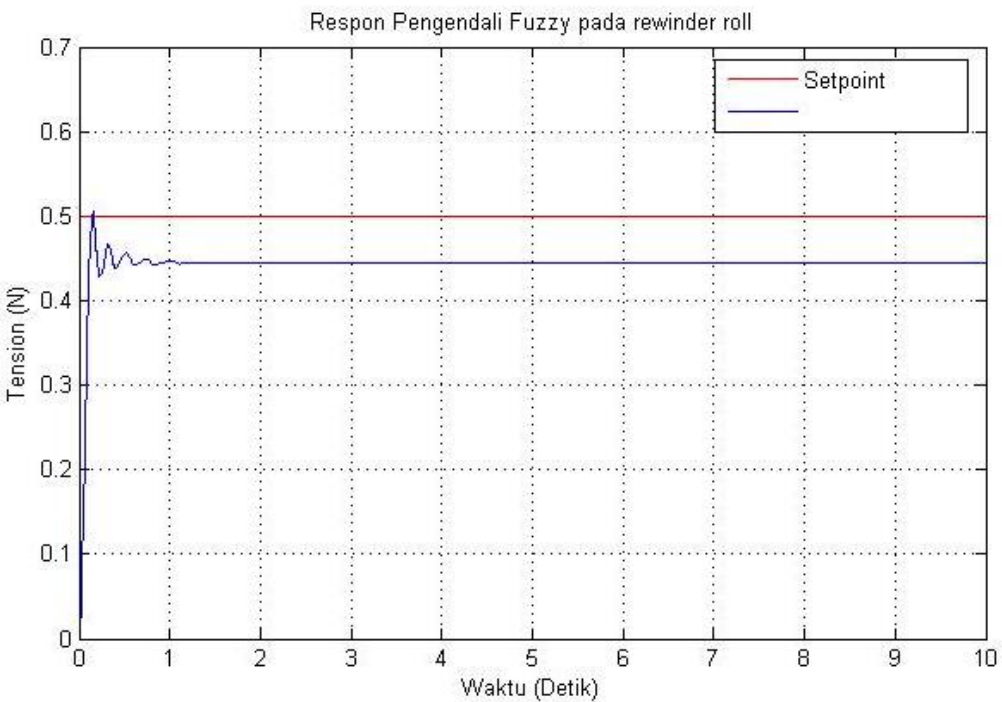
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta UIN Suska Riau

Hasil tuning pengendali fuzzy dengan nilai tengah (e) $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$, (De), $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$ dan (K) $[-0,16 \ 0 \ 0,16]$



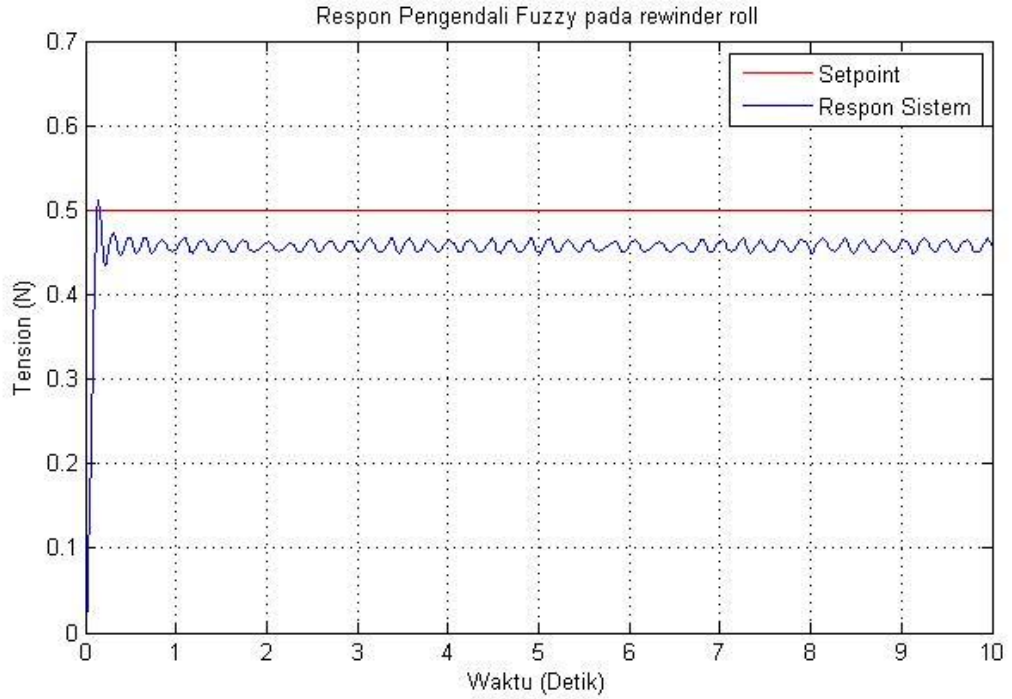
10. Hasil tuning pengendali fuzzy dengan nilai tengah (e) $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$, (De), $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$ dan (K) $[-0,14 \ 0 \ 0,14]$



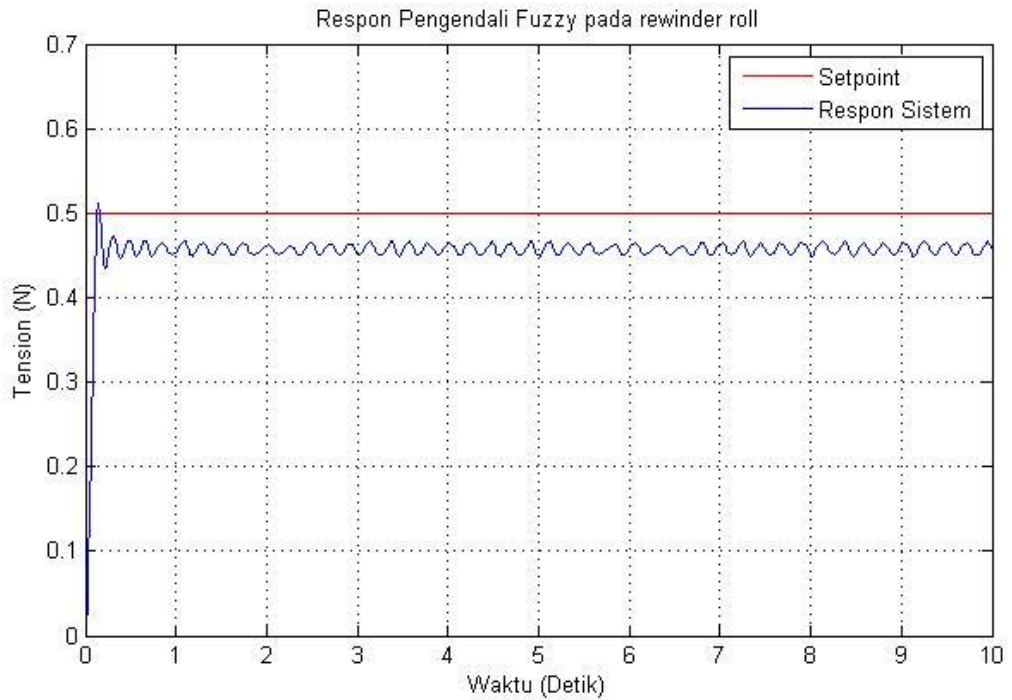
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) [-0,1 0 0,1], (De), [-0,1 0 0,1] dan (K) [-0,12 0 0,12]



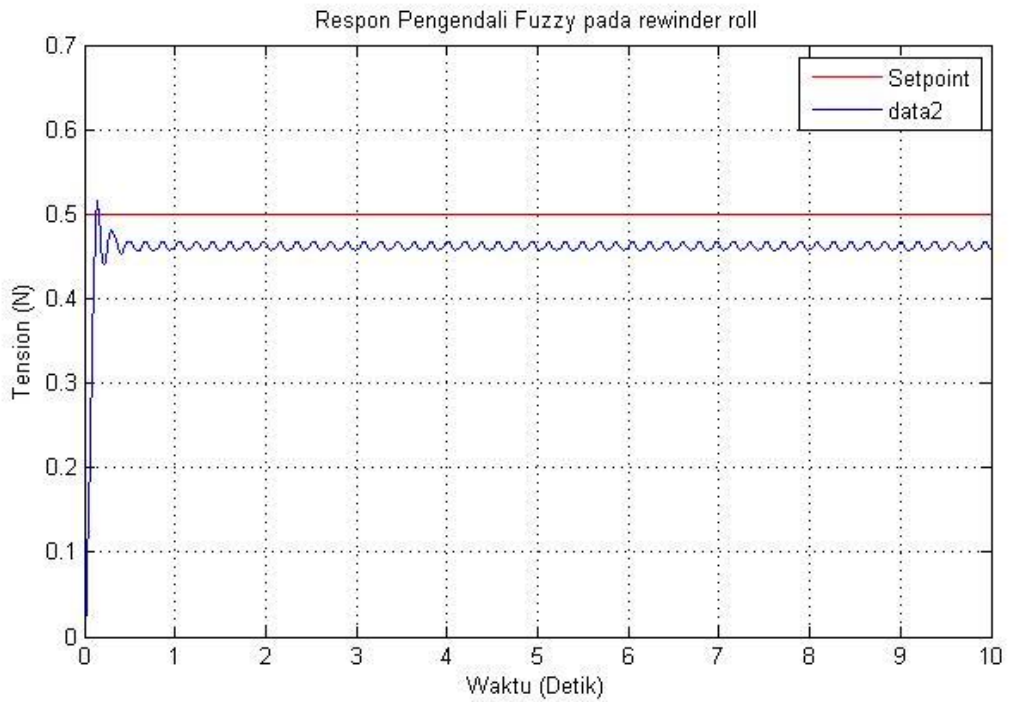
12. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) [-0,1 0 0,1], (De), [-0,1 0 0,1] dan (K) [-0,1 0 0,1]



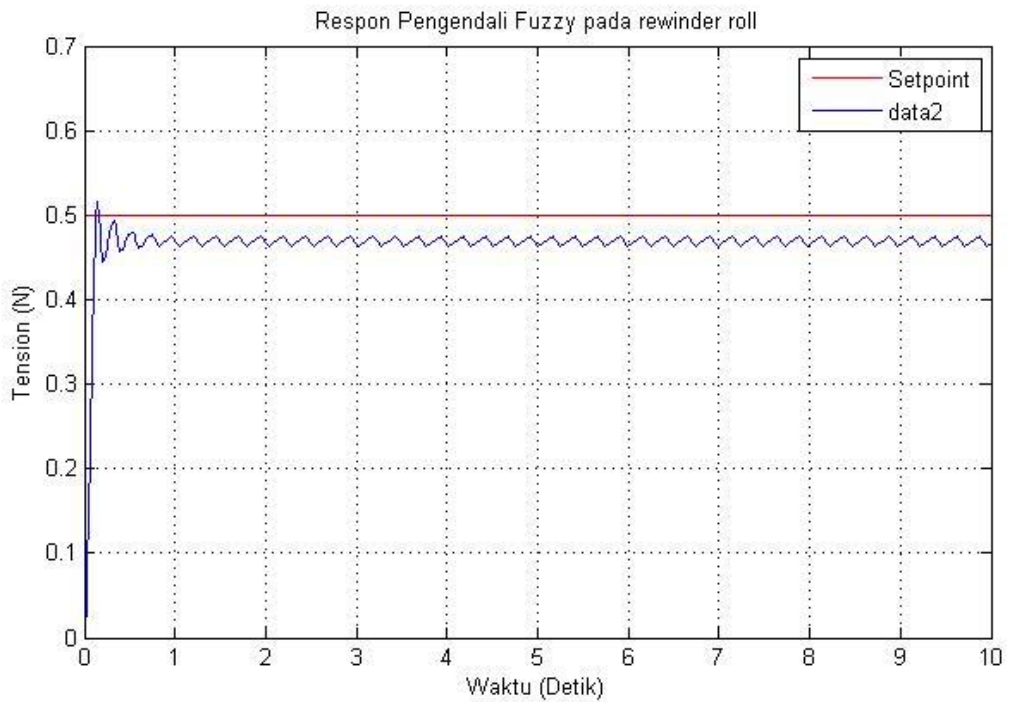
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Hasil tuning pengendali fuzzy dengan nilai tengah (e) $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$, (De), $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$ dan (K) $[-0,08 \ 0 \ 0,08]$



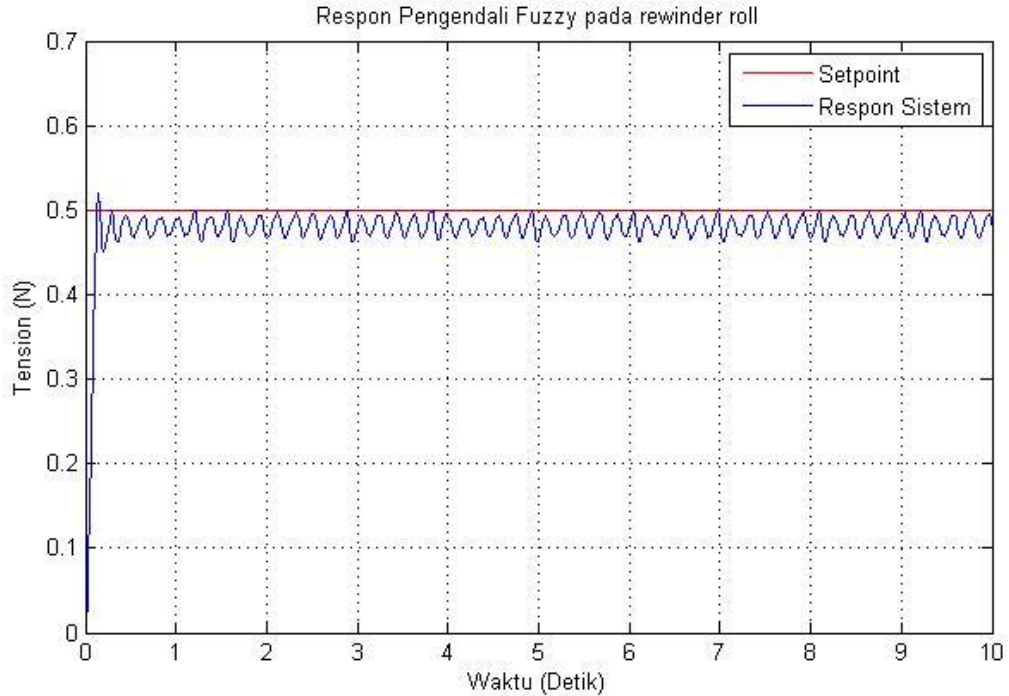
14. Hasil tuning pengendali fuzzy dengan nilai tengah (e) $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$, (De), $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$ dan (K) $[-0,06 \ 0 \ 0,06]$



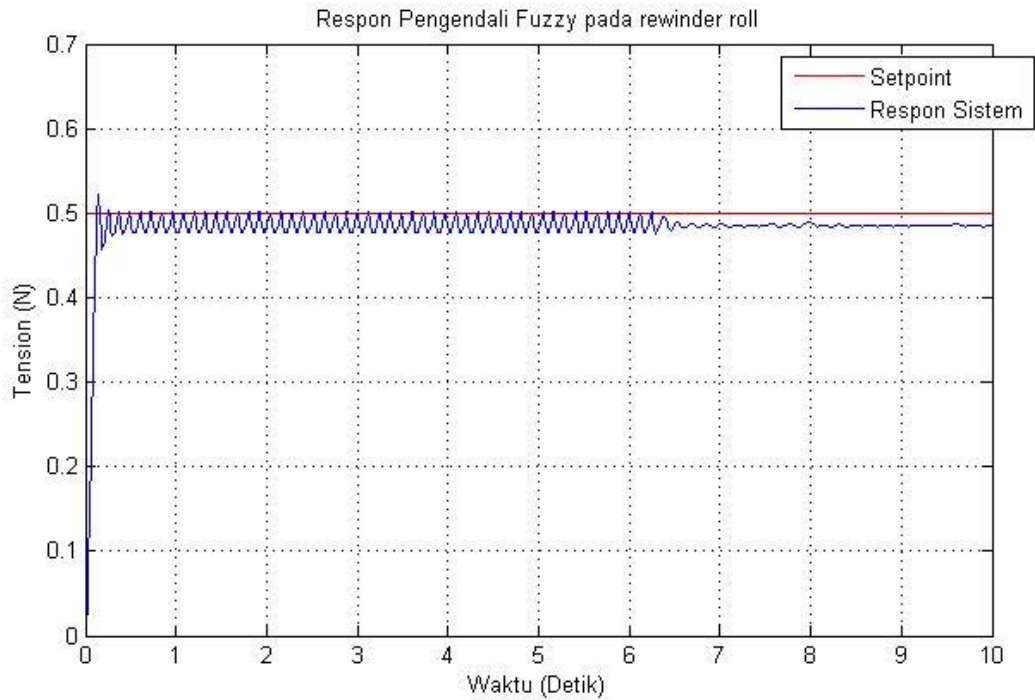
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

5. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$, (De), $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$ dan (K) $[-0,04 \ 0 \ 0,04]$



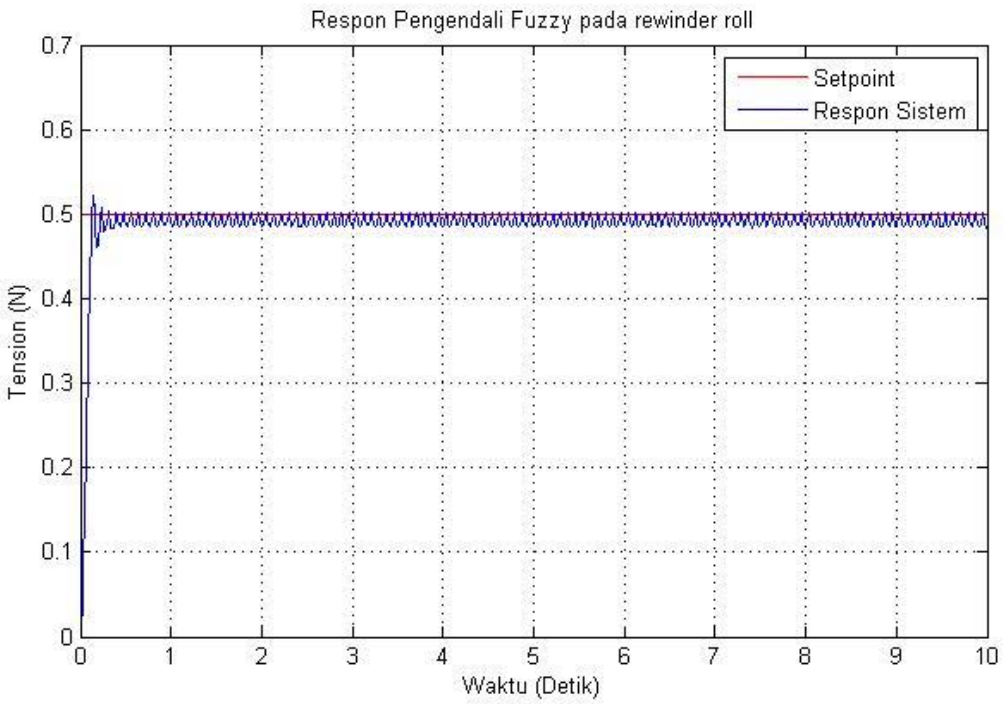
16. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tengah (e) $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$, (De), $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$ dan (K) $[-0,02 \ 0 \ 0,02]$



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Hasil tuning pengendali fuzzy dengan nilai tengah (e) $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$, (De), $[-0,1 \ 0 \ 0,1]$ dan (K) $[-0,01 \ 0 \ 0,01]$

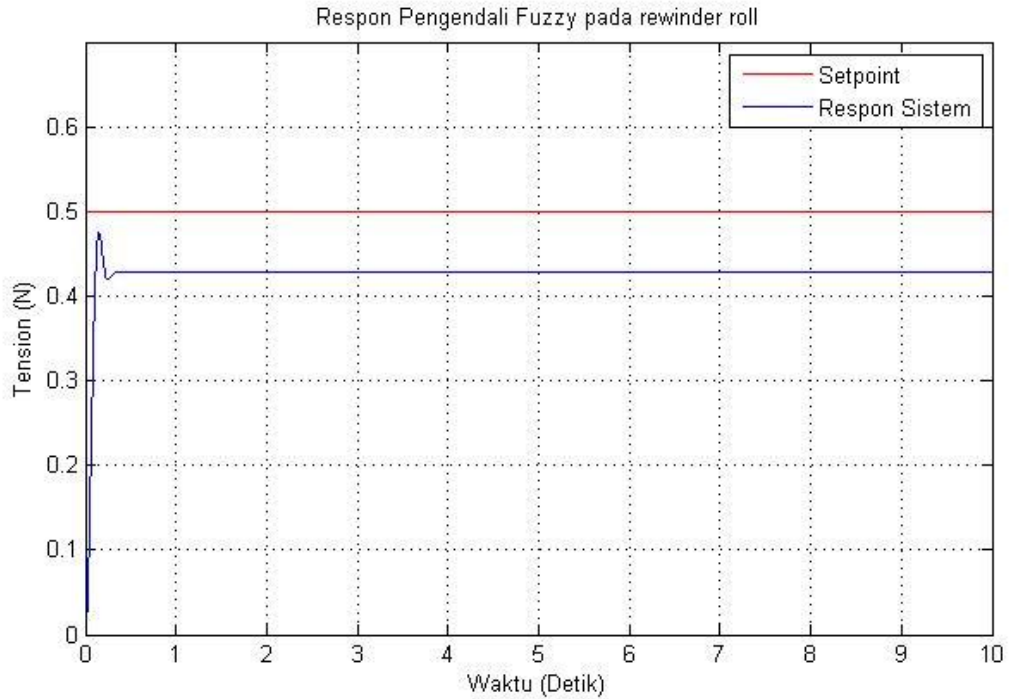


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

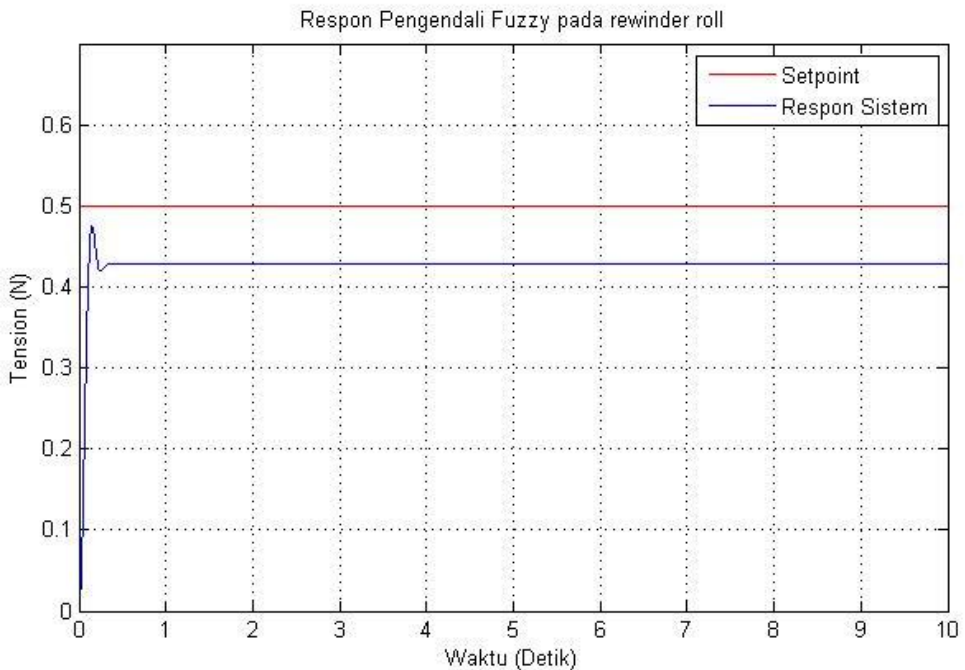
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN B

Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0, 0], E(+) [0 0,5 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,5 0], D(+) [0 0,5 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,15 0], B [-0,5 -0,5 -0,15 0]



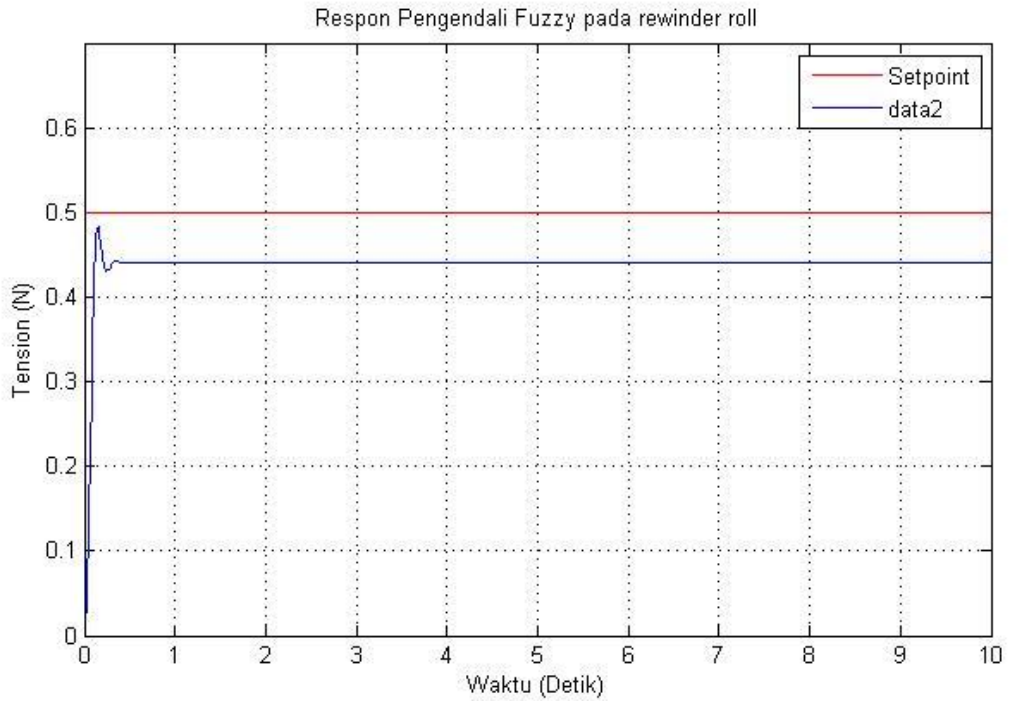
2. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0,4 0], E(+) [0 0,4 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,5 0], D(+) [0 0,5 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,15 0], B [-0,5 -0,5 -0,15 0]



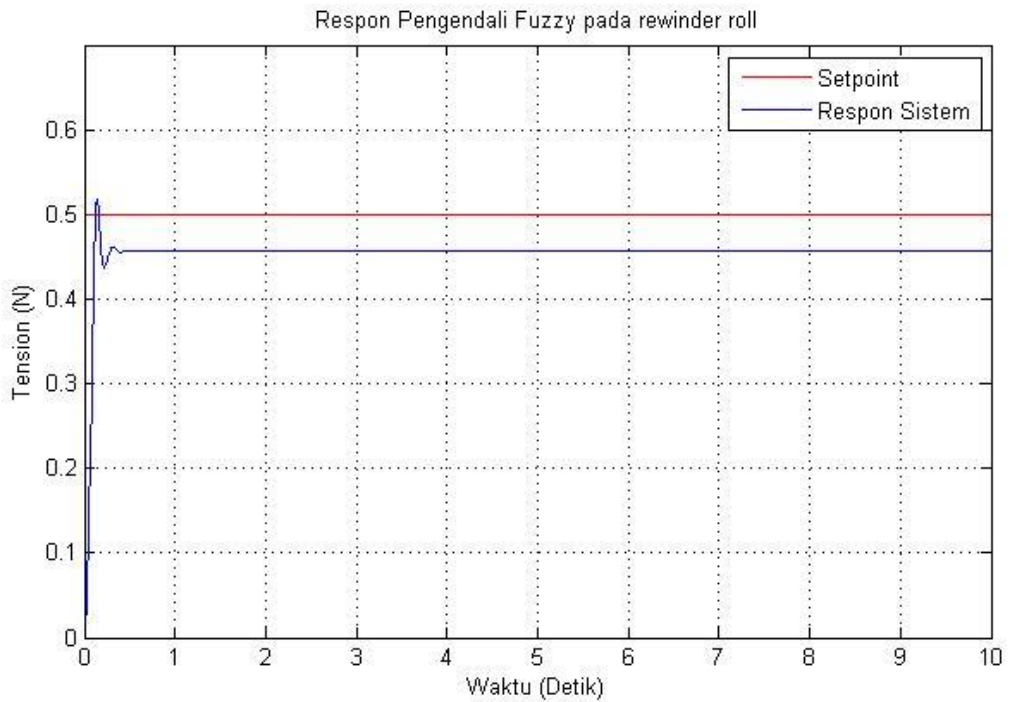
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0,3 0], E(+) [0 0,3 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,5 0], D(+) [0 0,5 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,15 0], B [-0,5 -0,5 -0,15 0]



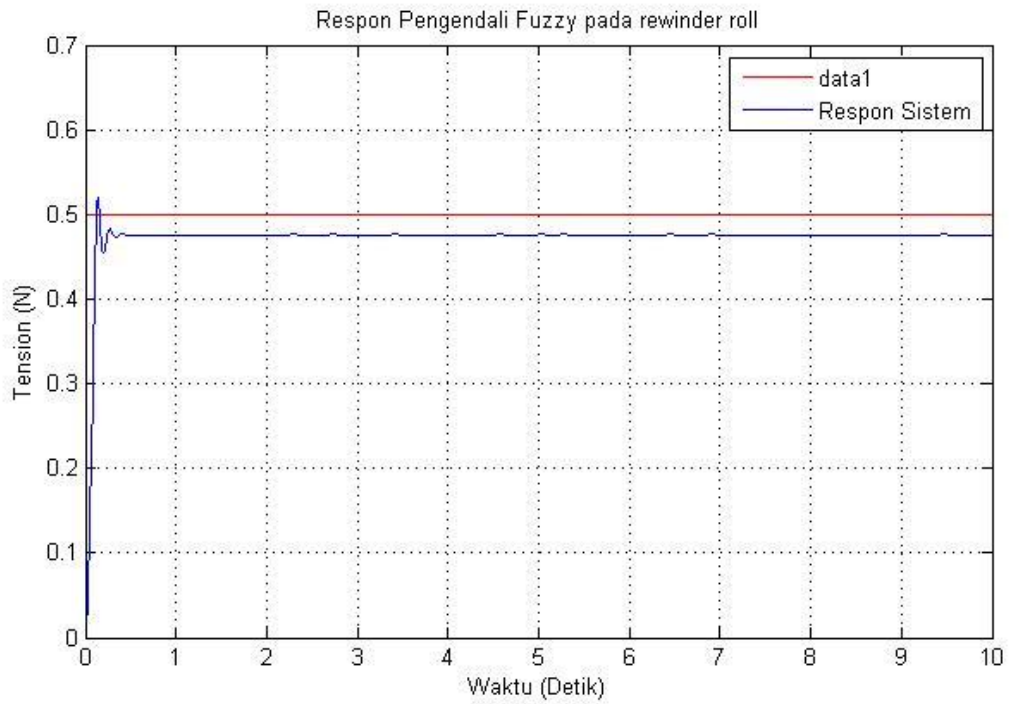
4. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0,2 0], E(+) [0 0,2 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,5 0], D(+) [0 0,5 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,15 0], B [-0,5 -0,5 -0,15 0]



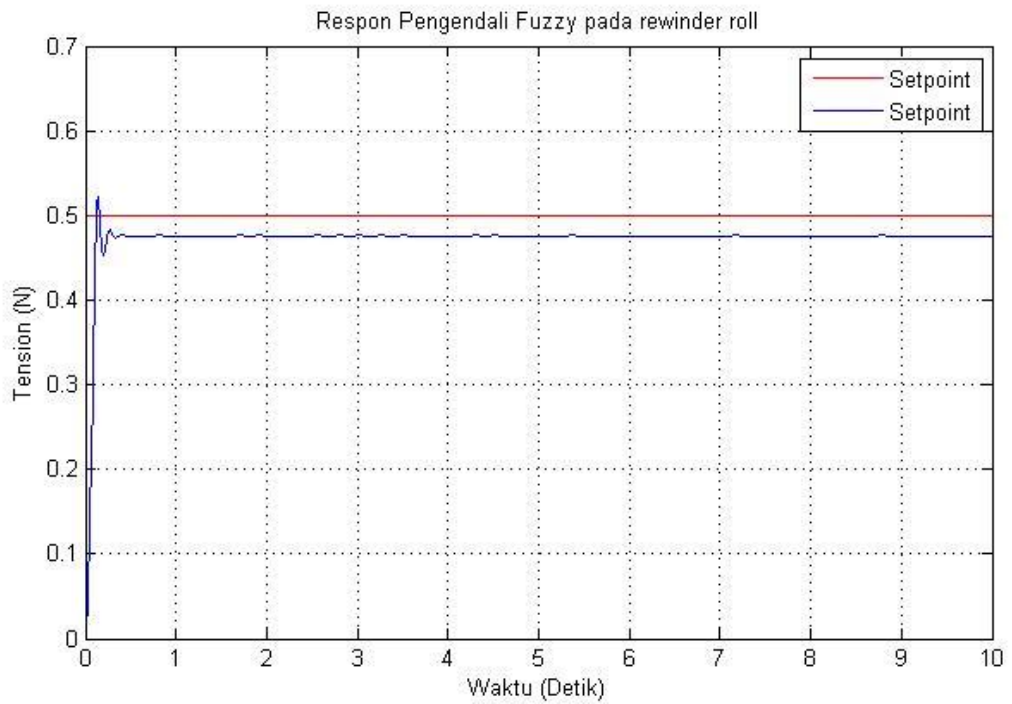
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0,1 0], E(+) [0 0,1 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,5 0], D(+) [0 0,5 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,15 0], B [-0,5 -0,5 -0,15 0]



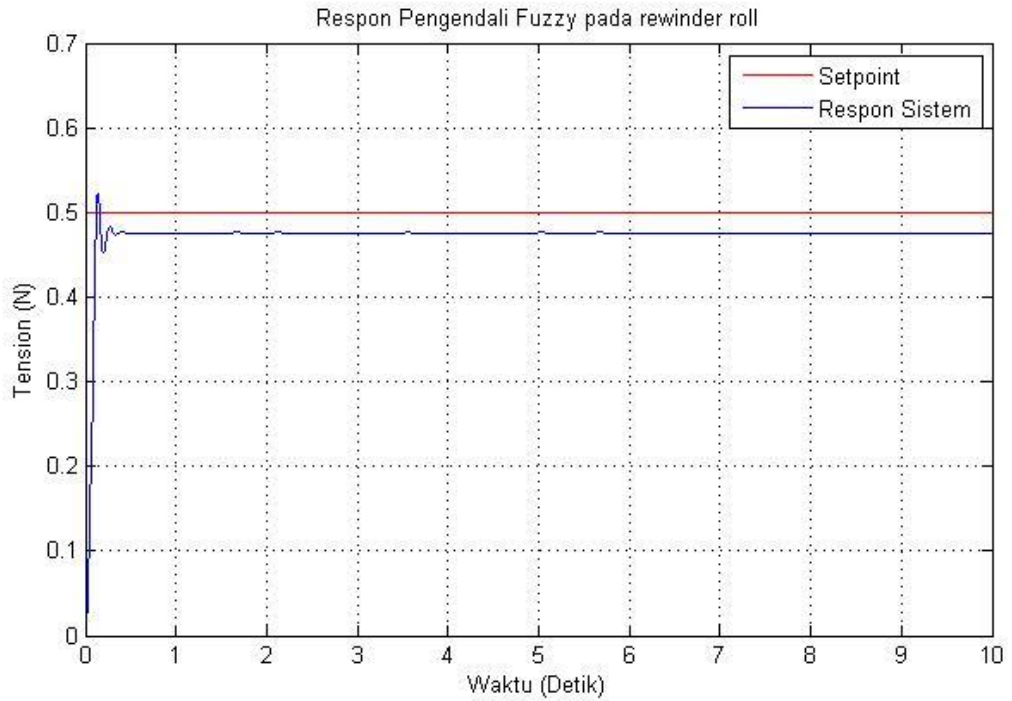
6. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0,1 0], E(+) [0 0,1 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,4 0], D(+) [0 0,4 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,15 0], B [-0,5 -0,5 -0,15 0]



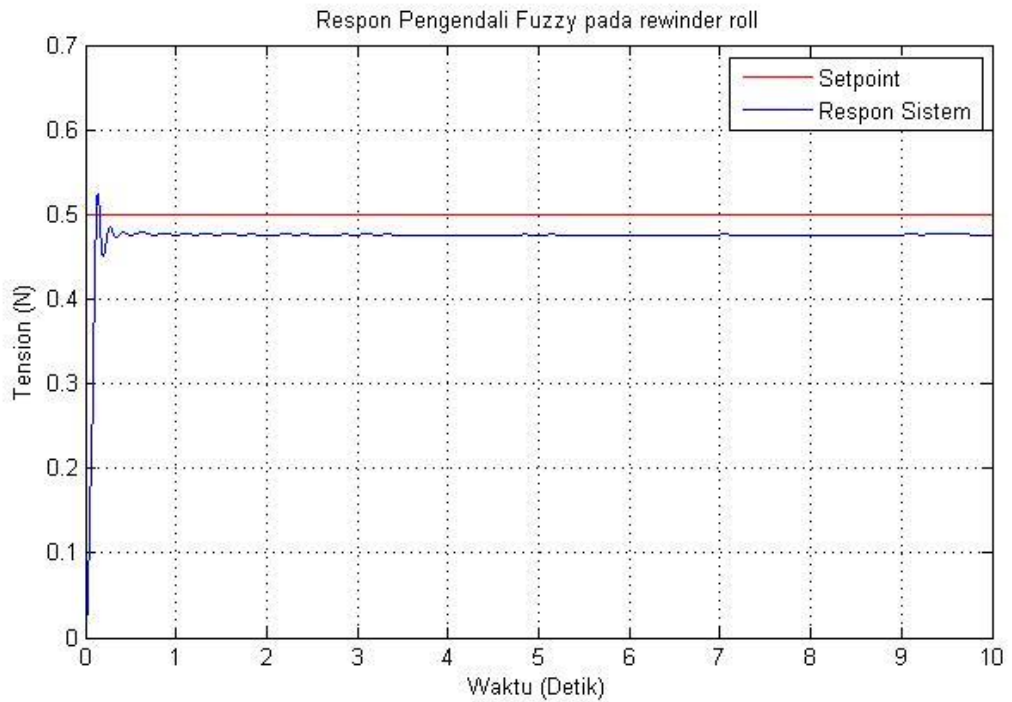
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0,1 0], E(+) [0 0,1 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,3 0], D(+) [0 0,3 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,15 0], B [-0,5 -0,5 -0,15 0]



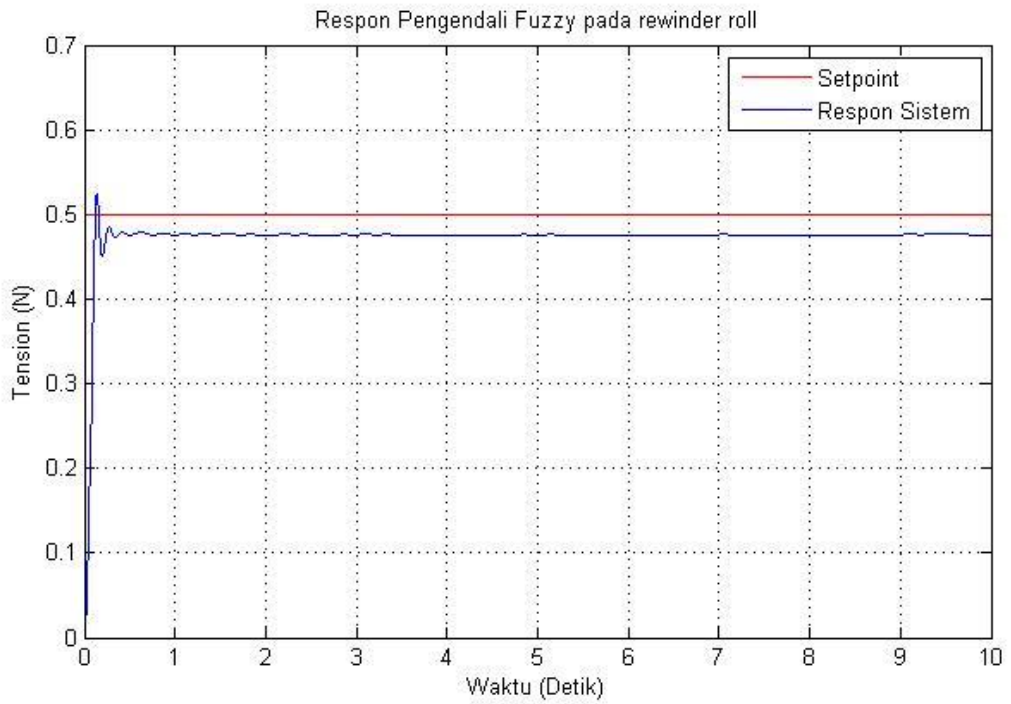
8. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0,1 0], E(+) [0 0,1 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,2 0], D(+) [0 0,2 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,15 0], B [-0,5 -0,5 -0,15 0]



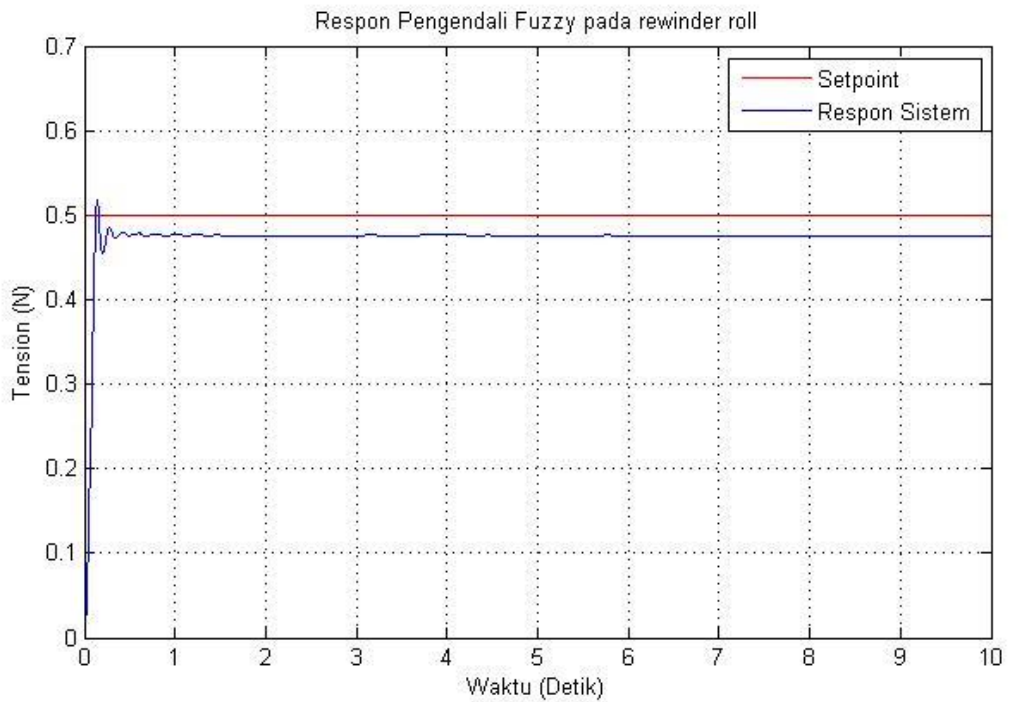
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0,1 0], E(+) [0 0,1 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,1 0], D(+) [0 0,1 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,15 0], B [-0,5 -0,5 -0,15 0]



10. Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi E(-) [-1.5 -1.5 -0,1 0], E(+) [0 0,1 1.5 1.5], De(-) [-1.5 -1.5 -0,1 0], D(+) [0 0,1 1.5 1.5], K [-0,5 -0,5 -0,1 0], B [-0,5 -0,5 -0,1 0]



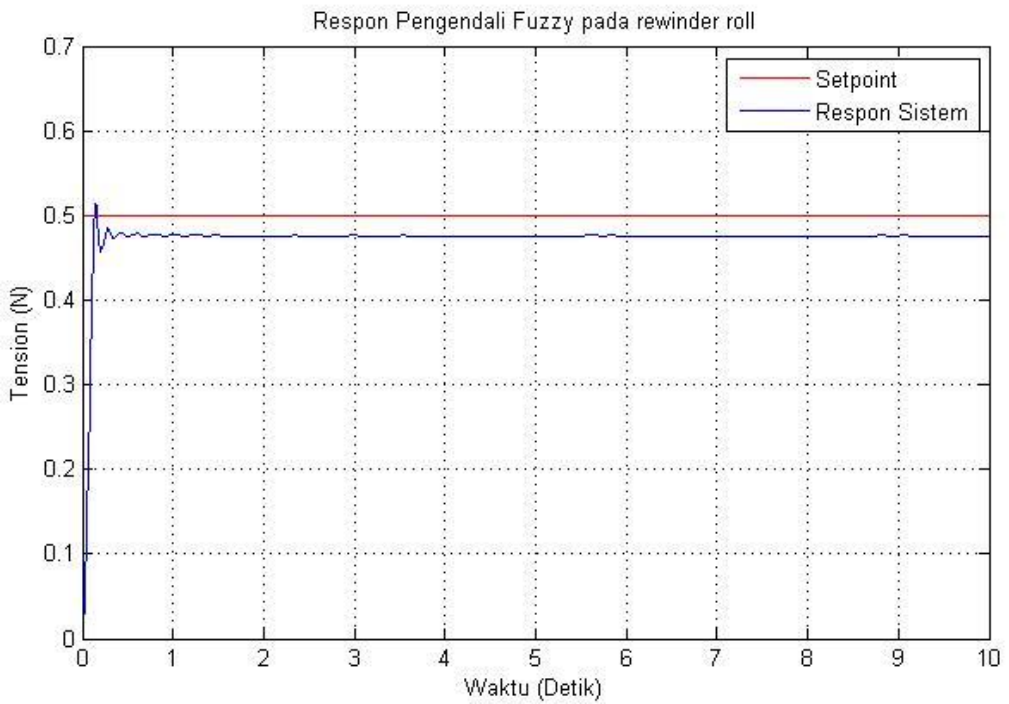
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

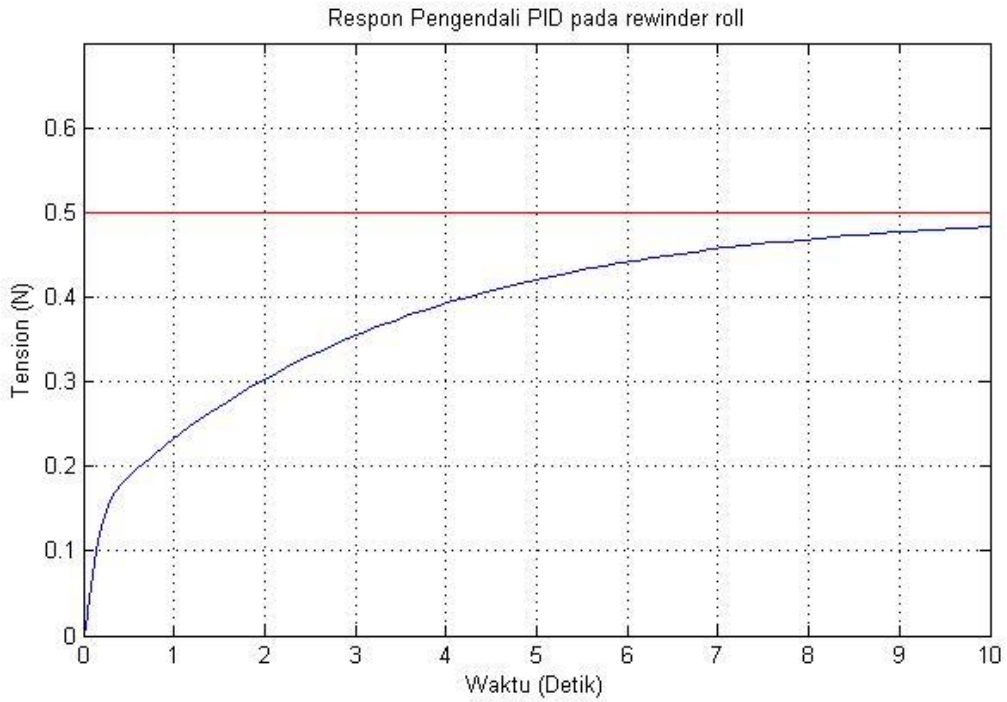
2. Diarangi mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

- Hasil tuning pengendali *fuzzy* dengan nilai tepi $E(-)$ $[-1.5 \ -1.5 \ -0,1 \ 0]$, $E(+)$ $[0 \ 0,1 \ 1.5 \ 1.5]$, $De(-)$ $[-1.5 \ -1.5 \ -0,1 \ 0]$, $D(+)$ $[0 \ 0,1 \ 1.5 \ 1.5]$, K $[-0,5 \ -0,5 \ -0,05 \ 0]$, B $[-0,5 \ -0,5 \ -0,05 \ 0]$

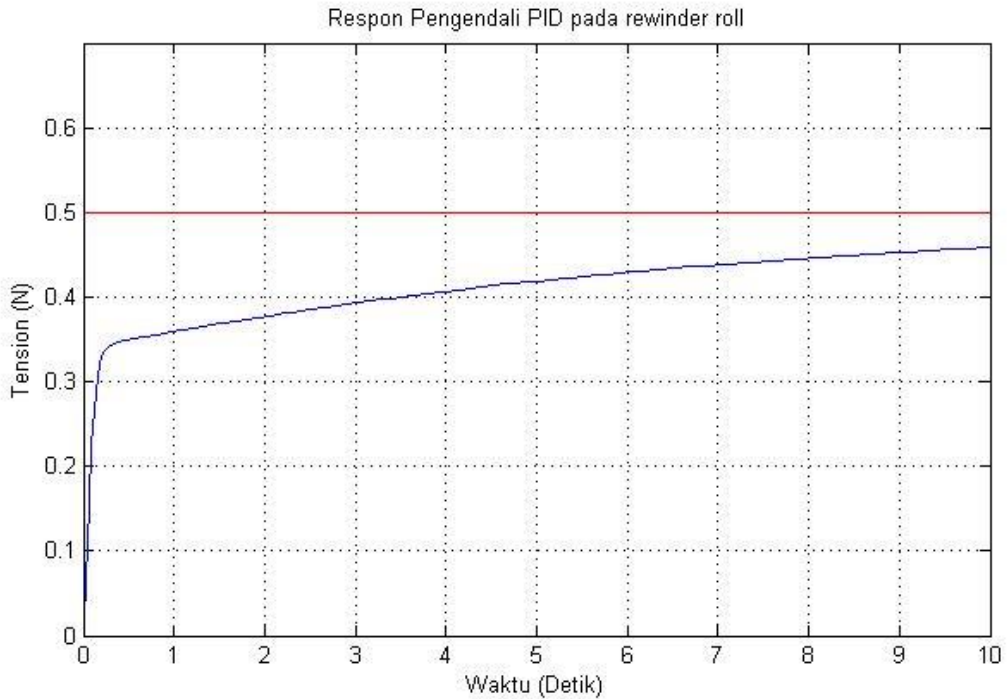


LAMPIRAN C

1. Grafik respon kendali PID dengan nilai $k_p=0,1$, $k_i=0,1$, $k_d=0$

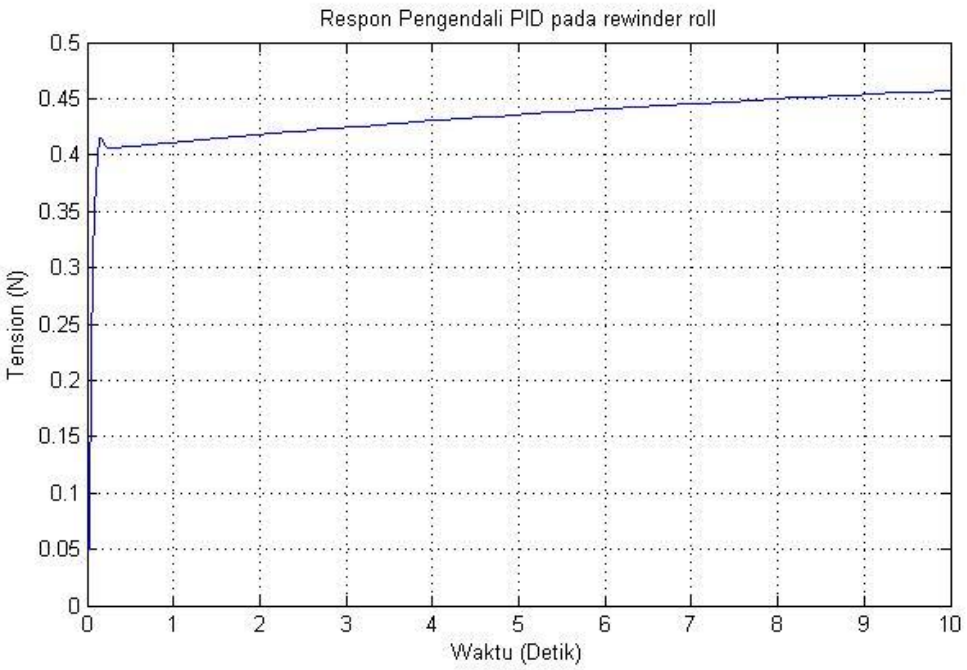


2. Grafik respon kendali PID dengan nilai $k_p=0,1$, $k_i=0,5$, $k_d=0$

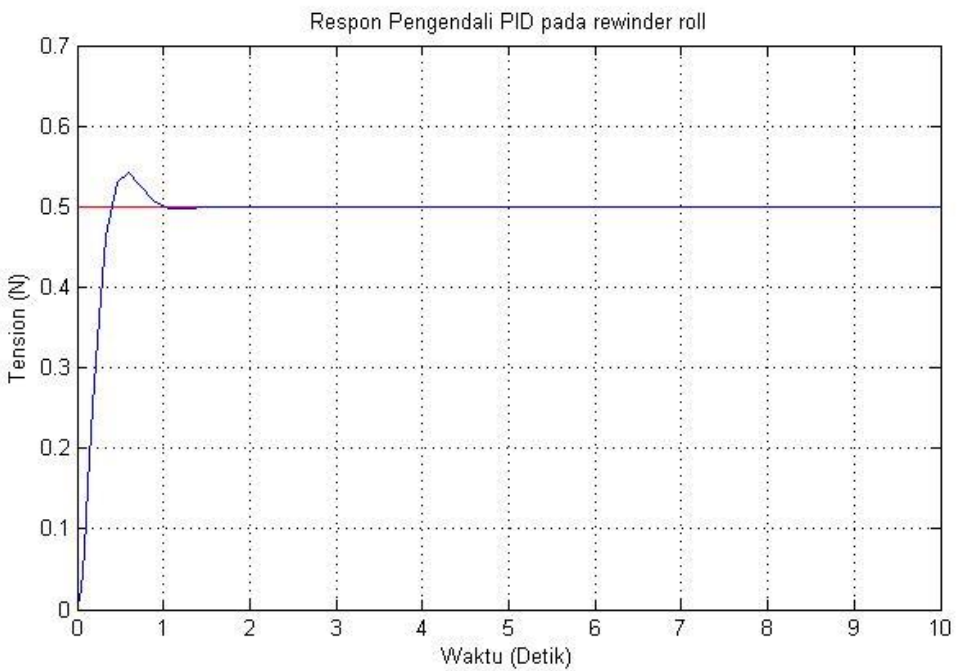


1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Grafik respon kendali PID dengan nilai $k_p=0,1$, $k_i=1$, $k_d=0$



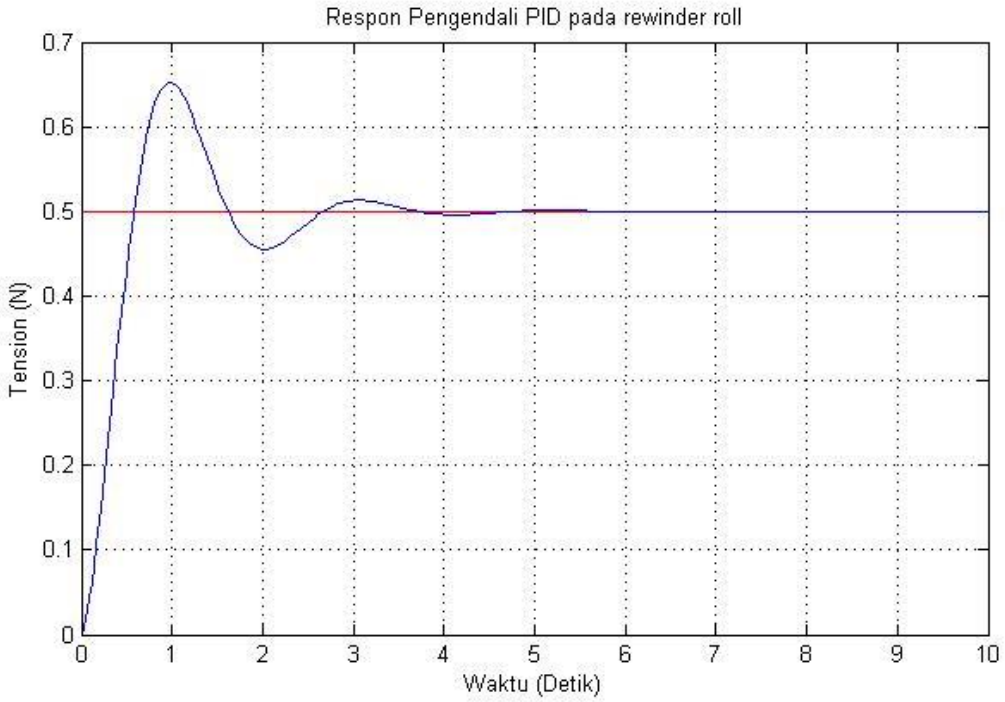
4. Grafik respon kendali PID dengan nilai $k_p=0,1$, $k_i=1,5$, $k_d=0$



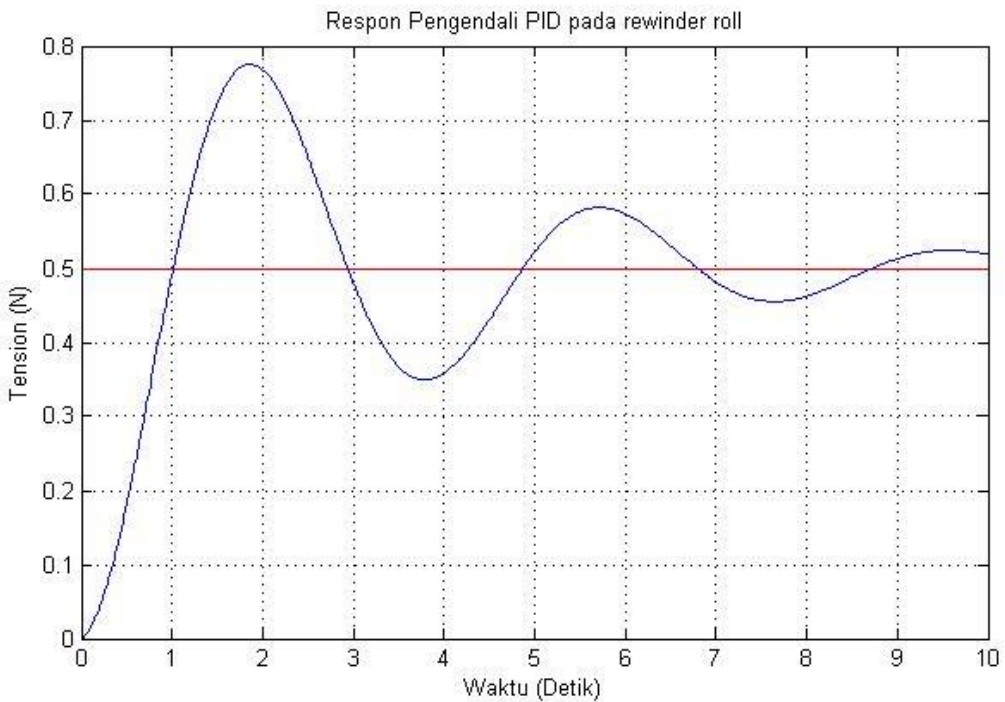
Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

6. Grafik respon kendali PID dengan nilai $k_p=0,1$, $k_i=1,5$, $k_d=0,1$

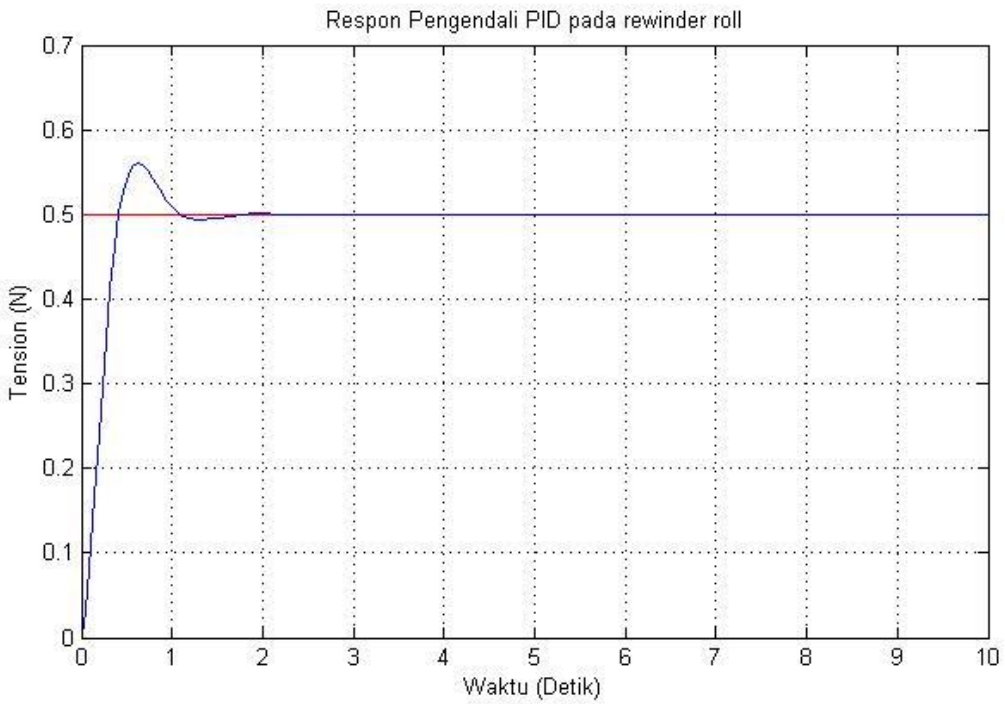


6. Grafik respon kendali PID dengan nilai $k_p=0,1$, $k_i=1,5$, $k_d=0,5$

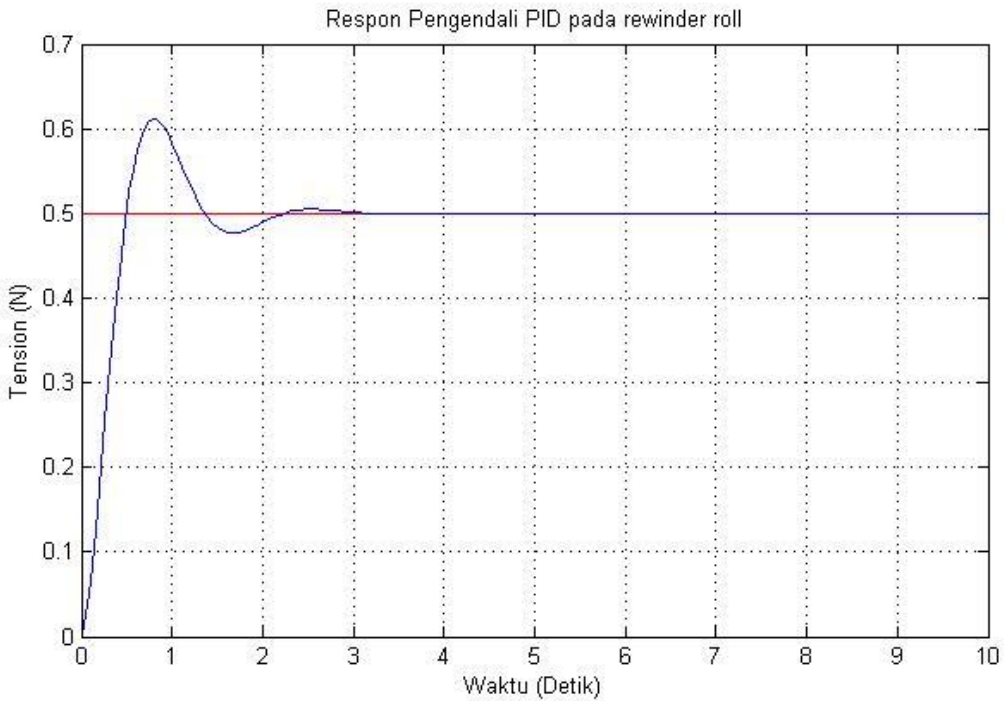


1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

8. Grafik respon kendali PID dengan nilai $k_p=0,1$, $k_i=1,5$, $k_d=0,01$



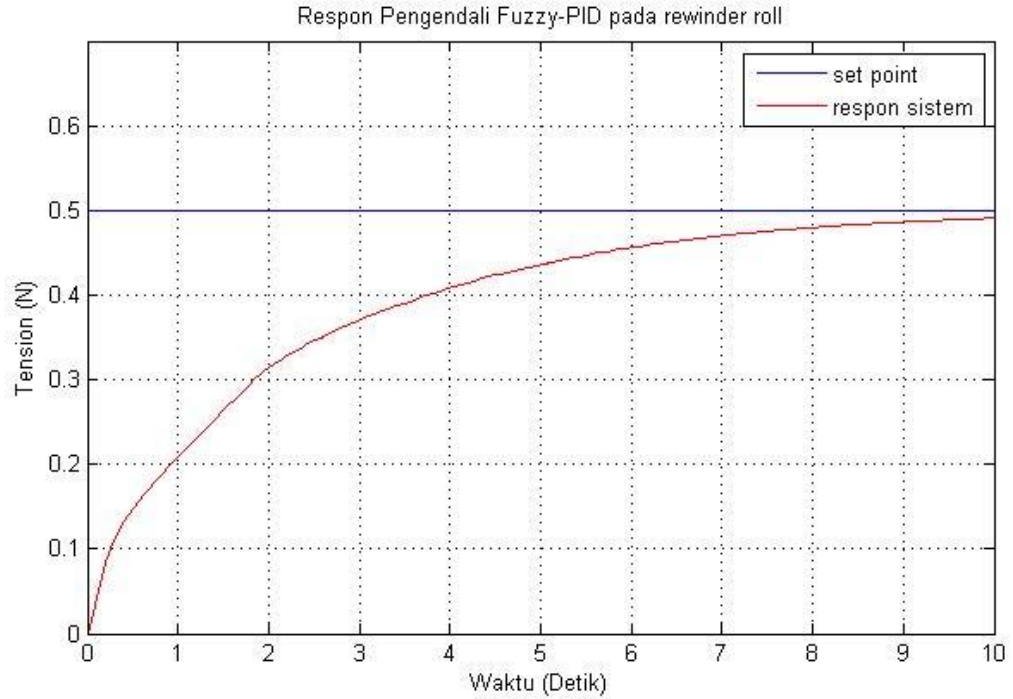
8. Grafik respon kendali PID dengan nilai $k_p=0,1$, $k_i=1,5$, $k_d=0,005$



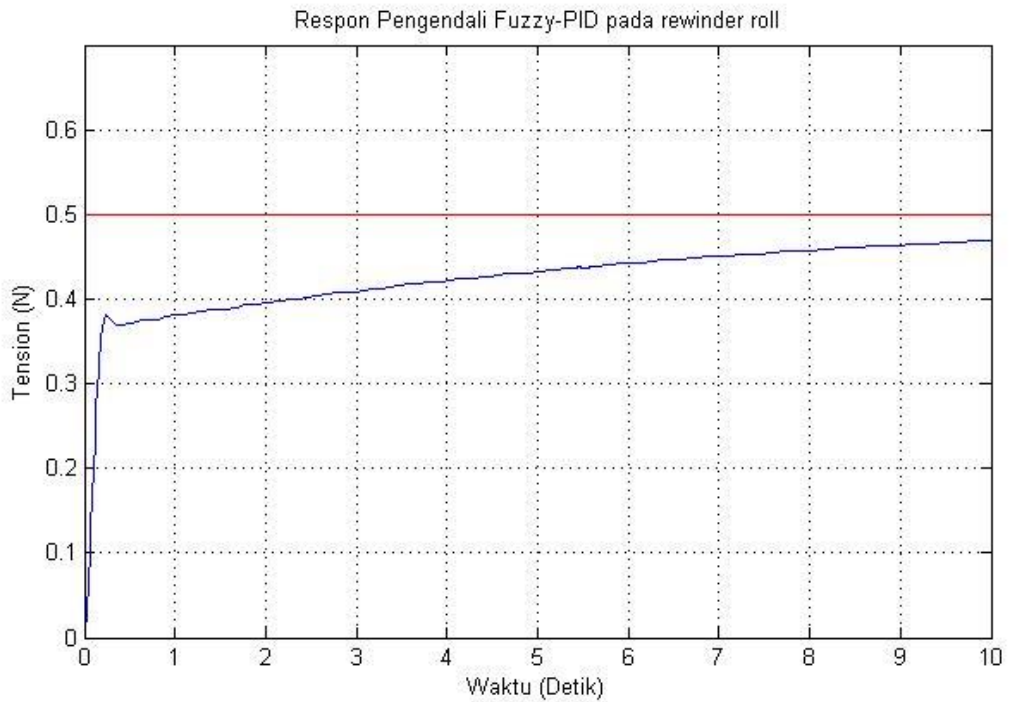
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN D

1. Grafik respon kendali gabungan fuzzy dengan penambahan kendali PID dengan nilai $k_p=0,1$, $k_i=0,1$, $k_d=0$



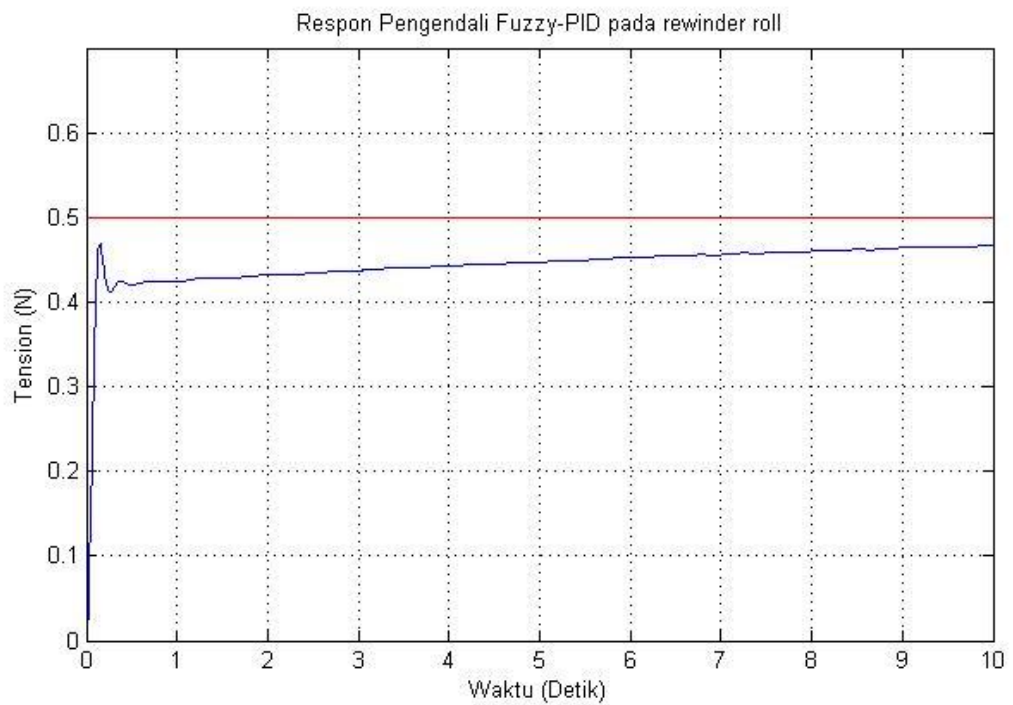
2. Grafik respon kendali gabungan fuzzy dengan penambahan kendali PID dengan nilai $k_p=0,5$, $k_i=0,1$, $k_d=0$



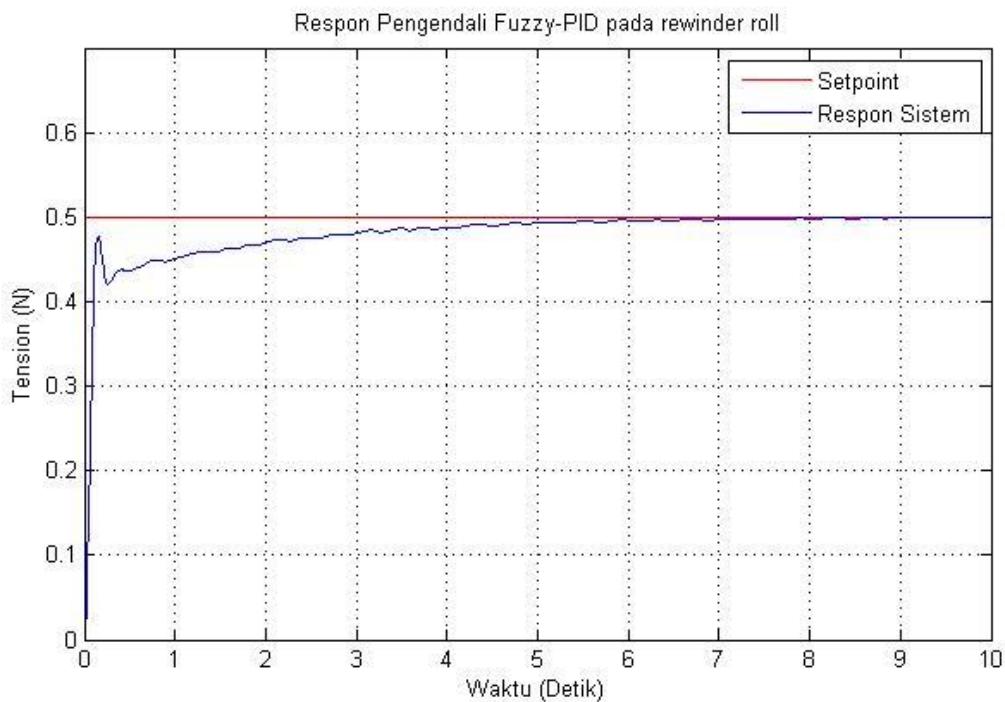
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

3. Grafik respon kendali gabungan fuzzy dengan penambahan kendali PID dengan nilai $k_p=1$, $k_i=0,1$, $k_d=0$



4. Grafik respon kendali gabungan fuzzy dengan penambahan kendali PID dengan nilai $k_p=1$, $k_i=0,5$, $k_d=0$

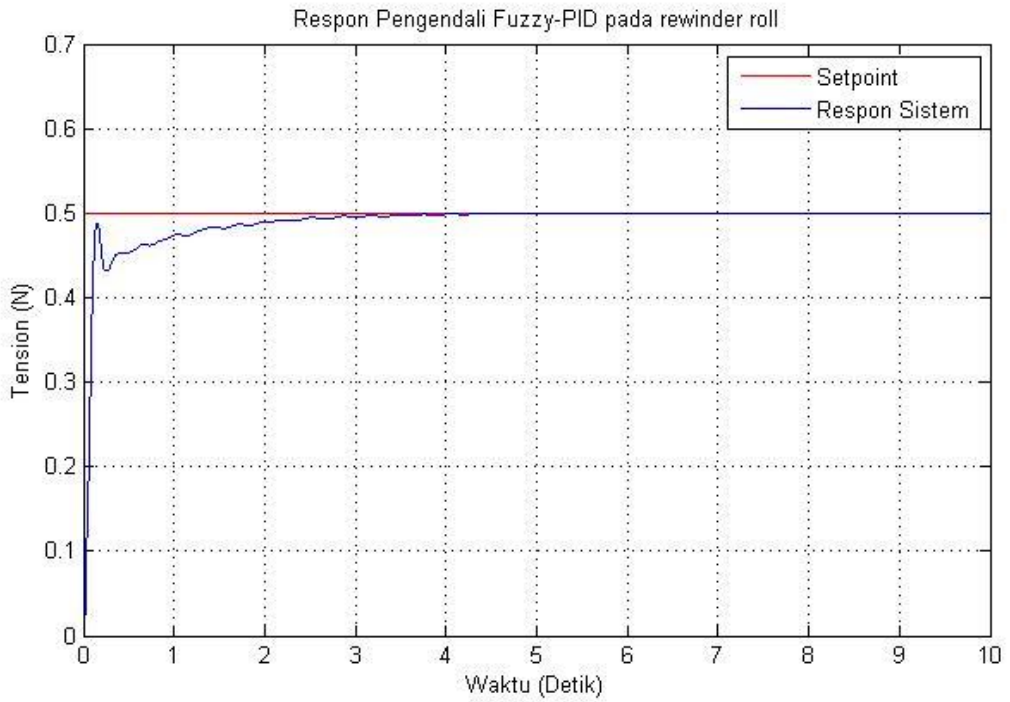


5. Grafik respon kendali gabungan fuzzy dengan penambahan kendali PID dengan

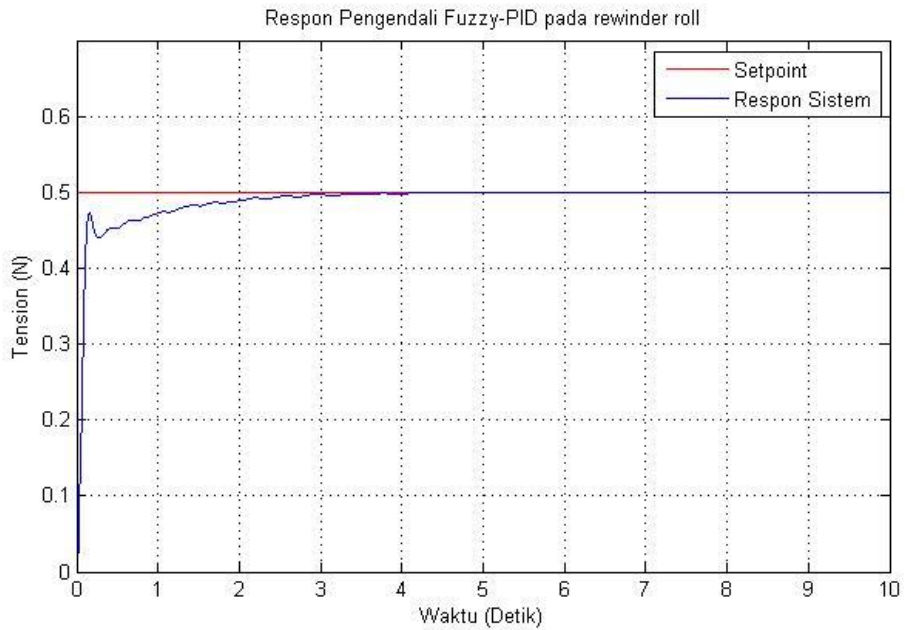
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

nilai $kp=1$, $ki=1$, $kd=0$



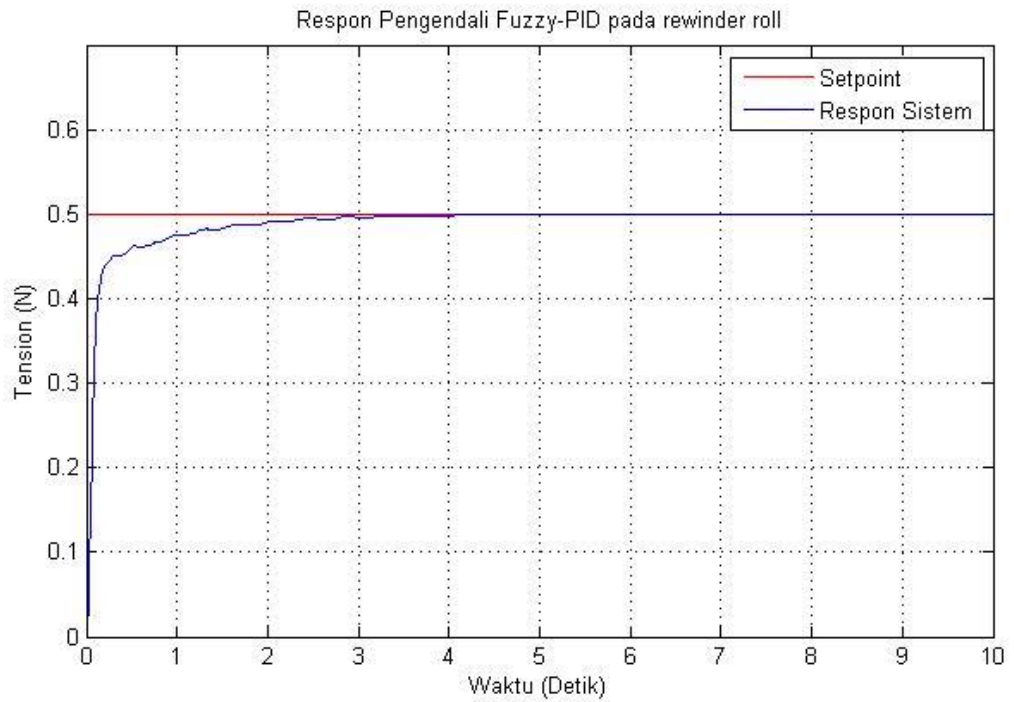
6. Grafik respon kendali gabungan fuzzy dengan penambahan kendali PID dengan nilai $kp=1$, $ki=1$, $kd=0,01$



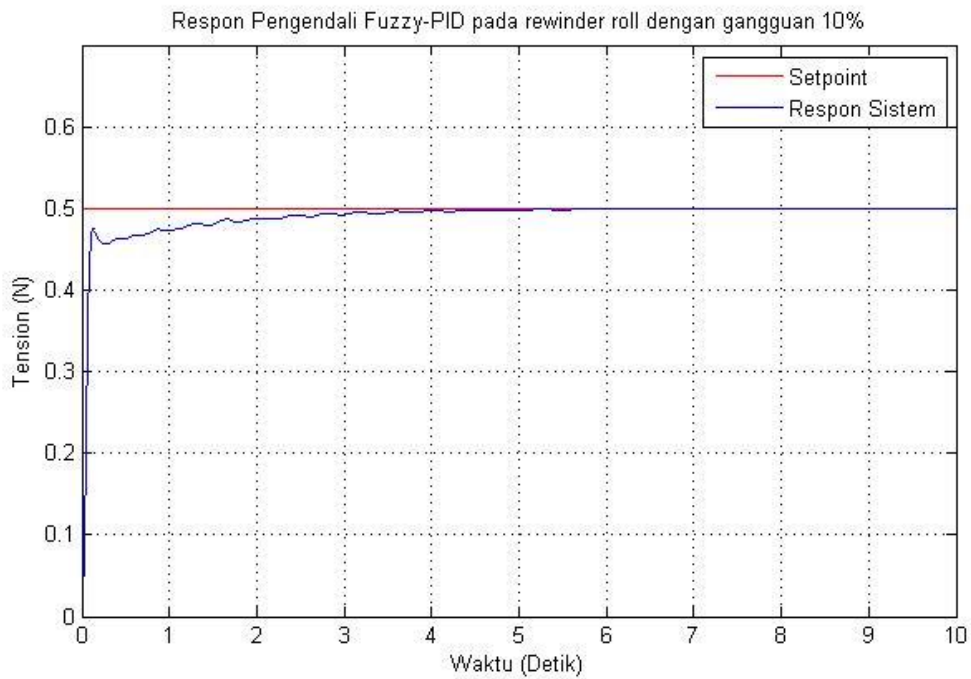
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

8. Grafik respon kendali gabungan fuzzy dengan penambahan kendali PID dengan nilai $k_p=1$, $k_i=1$, $k_d=0,05$



8. Grafik respon kendali gabungan fuzzy dengan penambahan kendali PID dengan nilai $k_p=1,5$, $k_i=1$, $k_d=0,05$

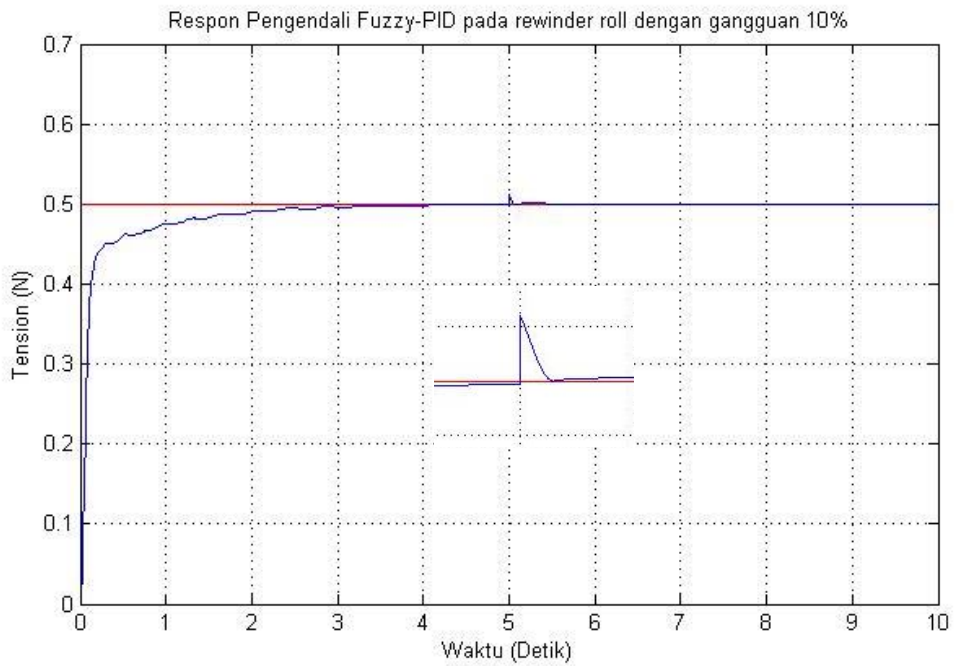


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

LAMPIRAN E

1. Grafik pengendali *fuzzy*-PID dalam mengatasi gangguan sebesar 10%





DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Fajar Fadillah lahir pada tanggal 11 Januari 1998 di Padang, merupakan anak pertama dari Afdaleli Maizon dan Zesita Firza yang beralamat di BTN.Cendrawasih, Desa perawang Barat, Kecamatan Tualang, Siak. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Muhammadiyah dan lulus pada tahun 2010. Kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMP N 1 Tualang dan lulus pada tahun 2013. Kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama di SMA N Tualang lulus pada tahun 2016. Pada tahun 2016 penulis melanjutkan

jenjang pendidikan di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau dengan mengambil program studi Teknik Elektro konsentrasi Elektronika Instrumentasi dengan penelitian tugas akhir yang berjudul **“PERANCANGAN PENGENDALIAN WEB TENSION PADA REWINDER ROLL MENGGUNAKAN KENDALI FUZZY -PID”**.

No. HP : 0895639468550

Email : Fajarfadillah80@gmail.com

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.